

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE GRUPO
NA ORGANIZAÇÃO DE AMBIENTES DE MANUFATURA**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

FLÁVIO JOSÉ LORINI

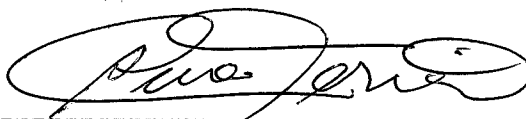
FLORIANÓPOLIS, -SETEMBRO DE 1991.

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE GRUPO
NA ORGANIZAÇÃO DE AMBIENTES DE MANUFATURA**

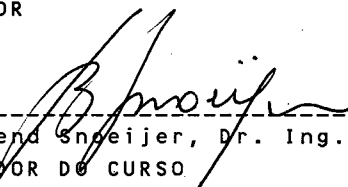
FLÁVIO JOSÉ LORINI

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA**

**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
FABRICAÇÃO, APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.**

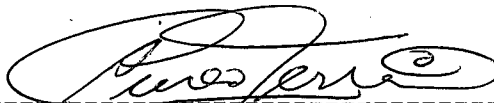


Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
ORIENTADOR

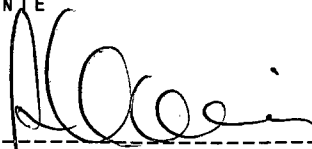


Prof. Berend Snijder, Dr. Ing.
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
PRESIDENTE



Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



Prof. Vera Lúcia do Valle Pereira, M.Sc.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
GLOSSÁRIO	iii

CAPÍTULO 1

1- INTRODUÇÃO	01
1.1- OBJETIVOS DA PESQUISA	05
1.2- A FABRICAÇÃO EM LOTES	06
1.2.1- A PROBLEMÁTICA DA FABRICAÇÃO EM LOTES	06
1.2.2- A DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DO LOTE	09
I- UMA ABORDAGEM CLÁSSICA	11
II- UMA ABORDAGEM EM TECNOLOGIA DE GRUPO	15
1.3- O ARRANJO FÍSICO DA ÁREA DE MANUFATURA	20
1.3.1- "LAY-OUT" EM LINHA	20
1.3.2- "LAY-OUT" FUNCIONAL	21
1.3.3- "LAY-OUT" DE GRUPO	22

CAPÍTULO 2

2- A TECNOLOGIA DE GRUPO	23
2.1- ASPECTOS HISTÓRICOS	25
2.2- A FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS DE PEÇAS	28
2.2.1- INSPEÇÃO VISUAL	30
2.2.2- ANÁLISE DO FLUXO DE PROCESSO	31
2.2.3- CLASSIFICAÇÃO POR UM CÓDIGO	34
2.2.4- RECONHECIMENTO DE PADRÕES	38
2.3- OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO (SCC)	40
2.3.1- CARACTERÍSTICAS E FINALIDADES	40

2.3.2-	TIPOS DE ATRIBUTOS	47
2.3.3-	TIPOS DE ESTRUTURAS	48
I-	ESTRUTURA HIERÁRQUICA OU MONOCÓDIGO	48
II-	ESTRUTURA EM CADEIA OU POLICÓDIGO	49
III-	ESTRUTURA COMBINADA OU HÍBRIDA	51
2.3.4-	CONSIDERAÇÕES PARA SELEÇÃO DE UM SCC	52
2.3.5-	IMPLEMENTAÇÃO DE UM UM SCC	53
2.3.6-	ALGUNS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO	54
I-	O SISTEMA OPITZ	54
II-	O SISTEMA MICLASS	57
III-	O SISTEMA KK-3	59
IV-	O SISTEMA SCC/GRUCON	63
2.4-	SISTEMAS CELULARES DE MANUFATURA	69
2.4.1-	CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMC).....	71
I-	CÉLULAS COMANDADAS	75
II-	CÉLULAS NÃO-COMANDADAS	77
2.4.2-	SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)	79
I-	ELEMENTOS DE UM FMS	80
II-	TENDÊNCIAS NA INSTALAÇÃO DE FMS's	87
2.4.3-	SISTEMAS ESPECIAIS	88

CAPÍTULO 3

3-	PROJETO DE CÉLULA DE FABRICAÇÃO PELA DA ANÁLISE DE FLUXO .	89
3.1-	ALGORÍTMOS E TÉCNICAS DE AGRUPAMENTO	89
3.1.1-	PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA	93
3.1.2-	TÉCNICAS BASEADAS EM ARRANJOS	93
3.1.3-	TÉCNICAS DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO	98
3.1.4-	TÉCNICAS HEURÍSTICAS	100
3.2-	APLICAÇÃO DE UM ALGORÍTIMO HEURÍSTICO PARA PROJETO ...	101

3.3- A DEFINIÇÃO DO ALGORÍTMO	104
3.4- VARIÁVEIS UTILIZADAS NA DEFINIÇÃO DO ALGORÍTMO	105
3.5- ETAPAS DO ALGORÍTMO	106
3.6- PROCEDIMENTOS PARA TRATAR RESTRIÇÕES NO PROJETO	107

CAPÍTULO 4

4- SISTEMA COMPUTACIONAL PARA IMPLANTAÇÃO DO ALGORÍTMO	109
4.1- MÓDULO DE CADASTRAMENTO	109
4.1.1- CADASTRO DAS MÁQUINAS - MAQ_CAD	109
4.1.2- CADASTRO DAS PEÇAS - PEC_CAD	110
4.1.3- CADASTRO DAS ROTAS DE FLUXO - ROTAS_CAD	110
4.2- MÓDULO DE PROCESSAMENTO DOS DADOS	111
4.2.1- MONTAGEM DA MATRIZ PEÇA-MÁQUINA	111
4.2.2- APLICAÇÃO DO ALGORÍTMO SOBRE A MATRIZ	114
4.2.3- APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	114

CAPÍTULO 5

5- CONSIDERAÇÕES	118
5.1- RACIONALIZAÇÃO E SIMPLIFICAÇÃO	118
5.2- MUDANÇAS DE ORGANIZAÇÃO E BENEFÍCIOS	119
5.3- PADRONIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS	121
5.4- SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.....	122
5.5- ANÁLISE DO ALGORÍTMO IMPLEMENTADO	123
5.6- SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO	124
5.7- CONCLUSÕES	125

CAPÍTULO 6

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
------------------------------------	-----

RESUMO

A tendência da moderna indústria de manufatura caminha inevitavelmente para uma organização onde, na busca da qualidade e eficiência, a automatização desempenha um papel cada vez mais importante. A automatização, no entanto, nos moldes tradicionais, se justifica técnica e economicamente para grandes quantidades de produto; sistemas de produção em massa. O que vem se constatando, no entanto, na área de manufatura para produção discreta, é que esta cresce no sentido oposto, ou seja, para lotes cada vez menores. A razão está na constante e rápida evolução tecnológica dos produtos, aliada à inviabilidade de se manterem estoques, devido aos custos financeiros e aos riscos de obsolescência dos mesmos. Uma solução, para este aparente impasse, pode ser buscada numa ampla redefinição da estrutura organizacional dos meios de produção, para viabilizar uma automatização mais flexível. É o que se apresenta neste trabalho de pesquisa, onde são abordados os aspectos de uma filosofia de reorganização que é a Tecnologia de Grupo (GT). Seus diversos ângulos de enfoque aplicativo são abordados, notadamente para identificação de similaridades que permitam as vantagens de tratamento conjunto a distintos itens para efeito de manufatura. Busca-se, assim, uma automatização com certo grau de flexibilidade, que permita acompanhar as variações de produto, e viabilize, a nível mais abrangente, uma manufatura auxiliada e controlada por computador.

Dentro desta abordagem, um sistema computacional, para auxiliar a organização de peças em famílias e definir as células de manufatura, foi desenvolvido, embasado em Tecnologia de Grupo, sendo apresentado a um nível de protótipo.

ABSTRACT

Modern trends in manufacturing industry lead inevitably to an organization where, in the search for quality and efficiency, automation performs a more and more important role.

Traditionally, however, automation has been technically and economically justified for mass production. On the other hand, it is verified that discrete production manufacture grows in the opposite direction, that means, smaller size batches production. The reason for this lies in the product's systematic and rapid technological evolution, associated to the unfeasibility of keeping stocks, due to financial costs and to the risk of obsolescence.

A solution for this apparent contradiction may be obtained by radical redefinition of the organizational structure of the production means, in order to make a more flexible automation feasible. Such an approach is presented in this work, where the aspects of a reorganization philosophy, which is Group Technology(GT), are dealt with. Several application aspects are considered, specially in order to identify similarities which allow for an advantageous joint treatment of distinct items concerning the manufacturing process. Automation with a certain degree of flexibility is thus achieved, allowing for a product variations, and, in a more global level, making a computer aided and controlled manufacture feasible.

Under this approach, a computational system was developed, based on Group Technology, in order to help the organization of parts in families, and to define manufacturing cells, being presented in a prototype level.

GLOSSÁRIO DE SIGLAS UTILIZADAS NO TEXTO

SIGLA	INGLÊS	PORTUGUÊS
AGV	Automated Guided Vehicle	Veículo Automatizado de Transporte
CAD	Computer Aided Design	Projeto Auxiliado por Computador
CAE	Computer Aided Engineering	Engenharia Auxiliada por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Fabricação Auxiliada por Computador
CAP	Computer Aided Production	Produção Auxiliada por Computador
CAPP	Computer Aided Process Planning	Planejamento de Processo Auxiliado por Computador
CAQ	Computer Aided Quality	Qualidade Auxiliada por Computador
CIM	Computer Integrated Manufacturing	Manufatura Integrada por Computador
CNC	Computerized Numerical Control	Comando Numérico Computadorizado
DNC	Distributed Numerical Control	Comando Numérico Distribuído
FMC	Flexible Manufacturing Cell	Célula Flexível de Manufatura
FMS	Flexible Manufacturing System	Sistema Flexível de Manufatura
GT	Group Technology	Tecnologia de Grupo
NC	Numerical Control	Comando Numérico
PFA	Production Flow Analysis	Análise do Fluxo de Produção

C A P Í T U L O 1

1.0 - INTRODUÇÃO

O estágio atual do desenvolvimento tecnológico, vem elevando consideravelmente a diversificação dos itens produzidos nas indústrias de manufatura, notadamente naquelas do ramo metalúrgico. Os produtos estão em constante evolução tecnológica e aperfeiçoamento, reduzindo-se os custos, na tentativa de se conquistar novos mercados, ou pelo menos manter aqueles já conquistados frente a uma concorrência cada vez mais acirrada. Esta competitividade, e busca de um melhor aproveitamento e racionalização dos recursos disponíveis, tem levado engenheiros de manufatura e administradores a desenvolverem e adotarem novas técnicas gerenciais e de produção mais eficientes.

Os caminhos para um sistema produtivo moderno e eficiente passam cada vez mais por uma crescente necessidade de automatização dos sistemas de manufatura. Entre as razões que impõem um grau de automatização crescente podem ser destacadas:

i) a necessidade de se operar com máquinas mais flexíveis e versáteis, de alta produtividade, notadamente máquinas dotadas de comando numérico, programáveis e integradas a sistemas de transporte e movimentação automáticos para materiais;

ii) uma busca crescente de eficiência e agilidade na manipulação de dados e informações do sistema produtivo, através de sistemas computacionais específicos, tais como os que existem para auxílio ao controle da qualidade (CAQ), ao projeto (CAD), ao planejamento de processo (CAPP), e que se constituem em algumas das ferramentas disponíveis para a modernizar da manufatura.

A diversificação de produtos,, no entanto, com seu ciclo de vida cada vez menor, constitui-se no fator que dificulta ou até inviabiliza a automação nos moldes tradicionais, devido a sua produção em lotes sempre mais reduzidos.

Uma constatação importante, consequência da crescente diversificação da produção industrial, é o que se verifica nas indústrias metalúrgicas, onde 75% das peças produzidas são em lotes de tamanho menor que 50 unidades.

Em países industrializados, parcela relativa ao total de produtos manufaturados chega a representar até 30% do Produto Interno Bruto. Do volume total destes manufaturados, em torno de 40% representa produção em lotes. Desta parcela, em torno de 75% são considerados como lotes pequenos ou médios, ou seja, de um tamanho menor do que 50 unidades [16,5].

Na figura 1.0 é ilustrada a representatividade da fabricação em lotes, no universo da produção de manufaturados.

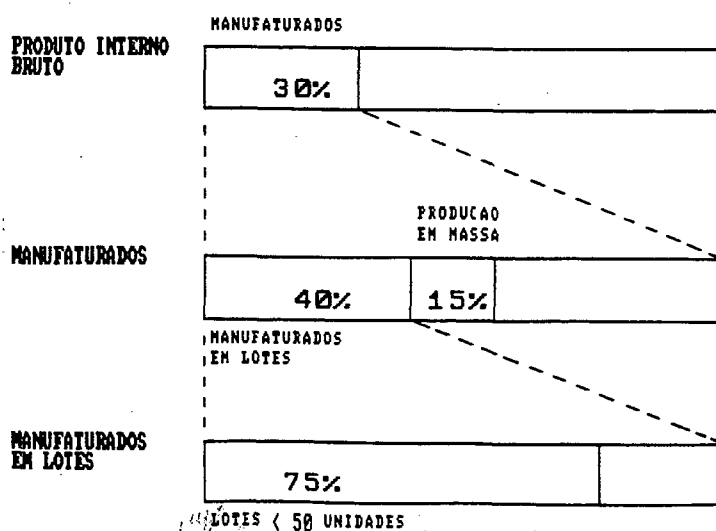


FIGURA 1.0 - Produção em lotes no universo da manufatura

Em consequência do crescimento das diversificações, e de estas serem para pequenos lotes, torna-se evidente a dificuldade com que as indústrias se deparam para realizar o planejamento e a execução da produção. Proliferam os planos de processo, consequentemente elevam-se custos de máquinas e ferramentas, enquanto complica-se a programação e o carregamento das máquinas. Elevam-se os tempos de "set-up", as taxas de refugo e os custos para o efetivo controle da qualidade. Em tese, a ineficiência tende a aumentar, diminuindo a produtividade e assim elevando os custos de maneira geral.

Evidentemente todos estes inconvenientes não existiriam ou então, ocorreriam em menor escala para uma produção em massa.

Torna-se imperativo buscar novas técnicas gerenciais, aliadas a uma possível automatização, para que o planejamento da produção conduza a uma manufatura de pequenos lotes a eficiência necessária a manter-se no mercado com competitividade de custos e qualidade.

Uma nova filosofia que vem sendo utilizada com sucesso, para contornar grande parte de todas estas dificuldades na área de manufatura, é a Tecnologia de Grupo (GT).

A Tecnologia de Grupo, aplicada a manufatura, é uma filosofia para o gerenciamento das atividades de produção, onde se procura obter vantagens econômicas da similaridade das peças fabricadas em pequenos lotes, tratando-as em conjunto, como se fosse uma produção em massa [7,5].

Sua aplicação vem sendo crescente nos últimos anos, mesmo associada a outras técnicas, principalmente em países de elevado avanço tecnológico e industrialização, com significativas reduções em tempos improdutivos e melhoria de qualidade.

No Brasil, apesar de algumas tentativas de aplicações nas indústrias e de estudos em algumas Universidades [12], estas iniciativas são ainda muito tímidas, frente às potencialidades que o setor de manufatura requer para sua modernização, onde a tecnologia poderia auxiliar. Um grande esforço se faz necessário no sentido de se racionalizarem os meios produtivos. É o que se constata quando se analisa a situação brasileira.

Estudo recente de uma empresa de consultoria [89], retrata a situação presente da necessidade do parque industrial ter seus meios produtivos alterados, para se atingir os níveis de eficiência dos países desenvolvidos. A referida pesquisa trata alguns aspectos, como o referente ao tempo médio de "set-up" de máquina, levantado nas indústrias nacionais, que comparado com valor médio mundial, mostra-se extremamente elevado. Constatação semelhante é encontrada quanto a qualidade dos produtos, onde é também elevada a taxa de peças defeituosas produzidas.

Estes, e outros parâmetros, sinalizam para uma urgente necessidade de se buscar uma reformulação, não só no aspecto físico instalado, mas principalmente, da organização produtiva, lançando-se mão de técnicas conhecidas para melhoria da administração, qualidade e produtividade na manufatura. É com o propósito de contribuir neste sentido, que o presente trabalho quer procurar apresentar um conjunto de idéias, dentro da filosofia de GT, que possam ser úteis à indústria de manufatura. Notadamente, para preparar um ambiente de fabricação assistida por computador, em direção a uma integração mais ampla, que seria a filosofia de CIM (Computer Integrated Manufacturing).

1.1-OBJETIVOS DA PESQUISA

Entre os objetivos deste trabalho, propõe-se apresentar os fundamentos e conceitos básicos da Tecnologia de Grupo, num enfoque de aplicabilidade a sistemas de manufatura, particularmente para sistemas de produção em lotes.

Destacar, através de uma abordagem sistêmica, os principais aspectos de implementação prática das vantagens da filosofia como uma das tecnologias mais simples e importantes para a organização de um ambiente de manufatura, notadamente como ferramenta para preparar a fabricação assistida por computador.

Evidenciar pontos de melhoria que podem ser obtidos frente ao enfoque de sistemas tradicionais no que tange ao planejamento e programação para sistemas produtivos. Analisar tanto metodologias, quanto ferramentas conceituais que estão sendo pesquisadas e aplicadas em modernos sistemas de manufatura, para contribuir na promoção de ganhos em termos de produtividade e racionalização de recursos.

Propõe-se ainda apresentar uma metodologia para implementar um dos principais aspectos da concepção da Tecnologia de Grupo, que é a organização em células, através de um modelo para projeto de agrupamento de peças e máquinas. Esta metodologia consiste na implementação computacional, a nível de protótipo, de um algoritmo heurístico para a formação de células, embasando-se na técnica de Análise de Fluxo de Produção (PFA), e complementado com informações relativas aos parâmetros de produção definidos para o ambiente.

1.2 - FABRICAÇÃO EM LOTES

1.2.1 - A PROBLEMÁTICA DA FABRICAÇÃO EM LOTES

Num sistema de fabricação em lotes, sempre tem sido uma grande preocupação a determinação do tamanho adequado deste lote, visto que ele deve atender plenamente a demanda entre os intervalos de produção, buscando-se nos custos de fabricação e de manutenção do estoque os menores níveis possíveis. A cada dia os custos tornam-se de maior significância porque podem definir, junto com a qualidade, a permanência de um produto no mercado.

Teoricamente, em função da demanda estimada ou históricos de consumo, ficaria relativamente fácil o dimensionamento do lote. Existe, no entanto, um fator que vem se tornando cada dia mais relevante à fabricação moderna, caracterizada pela redução cada vez mais acentuada do ciclo de vida dos produtos, decorrente de um mercado consumidor mais exigente e individualizado.

Se fossem feitas estimativas pelo consumo, mesmo que não houvessem alterações de produto, haveria ainda que se considerar possíveis oscilações na demanda. Um acréscimo de demanda poderia ser considerado com um estoque de segurança, mas evidentemente acarretaria todo um custo, para se manter esse estoque, aliado ao risco de obsolescência devido às eventuais alterações do produto.

Enquanto, por um lado, há toda uma tendência em se reduzir ao mínimo o tamanho do lote, existem outros pontos a serem considerados que induzem ao contrário. Quando se considerar que a manufatura de determinado produto implica em um custo fixo de preparação de máquinas, e adequação de "lay-out", evidentemente esta parcela se tornará tanto menos significativa quanto maior o tamanho do lote em que for rateada.

O problema, como se pode perceber torna-se complexo, analisando-se somente o aspecto dos custos de fabricar e estocar. De um lado os aspectos financeiros, impõem redução dos estoques para baixar os custos com a manutenção, e de outro lado, do ponto de vista de produção, aumentar o tamanho dos lotes significa diluir os custos de preparação, e preparar o maquinário em menores frequências.

Um outro aspecto, no entanto ainda é passível de discussão. O lote, para efeito de tratamento enquanto elemento de análise em fabricação, não tem uma quantidade de peças perfeitamente definida [2]. Na realidade, dependendo do ambiente de manufatura considerado, do estágio da fabricação, e do grau de controle sobre o processo, as quantidades a considerar podem variar significativamente. No caso de manufatura de peças, quatro principais tipos de lote podem ser tratados numa análise mais pertinente ao processo.

- 1) a quantidade da **ordem** de fabricação;
- 2) a quantidade da **rodada**; aquela executada em uma máquina, que pode ser apenas parcela da quantidade da ordem total;
- 3) a quantidade que se fabrica com um mesmo "**set-up**"; valor que depende de quantas peças podem ser fabricadas com uma mesma família de ferramentas instaladas nas máquinas, podendo ser esta quantidade até maior do que a da rodada;
- 4) a quantidade **transferida**; ou seja, aquela quantidade que determina um lote de movimentação nas estações de trabalho.

As variações nas quantidades terão sempre reflexos nos custos, no caso de uma redução na quantidade da rodada ou transferida, tenderão a reduzir os estoques e, conseqüentemente, seus custos de manutenção.

Por sua vez, aumento na quantidade correspondente a um mesmo "set-up", reduz os custos e aumenta produtividade sem aumento nos estoques.

O tipo de "lay-out", ou seja, a disposição física das facilidades de produção tem relação com as quantidades, e influi diretamente nos estoques, notadamente nos estoques em processo.

Em um "lay-out" funcional, em que as máquinas estejam agrupadas por suas funções, uma redução nas quantidades transferidas faz os custos de movimentação aumentarem, enquanto que esta variação teria pouco efeito em "lay-out" de grupo, onde as máquinas, dispostas em função dos produtos, estariam muito mais próximas umas das outras. Normalmente a maioria dos métodos de determinação do tamanho do lote baseia-se em "lay-out" funcional e controle dos estoques. Assume-se que as quatro quantidades consideradas sejam tratadas como sendo as mesmas, e os efeitos econômicos considerados também simultaneamente [2].

Considera-se ainda, para efeito de simplificação, que os custos unitários de produção sejam fixos, bem como os custos de preparação por lote. Estes custos, no entanto, podem variar consideravelmente, dependendo da seqüência de carga ou do planejamento do processo, e mesmo do que se pode chamar de efeito de aprendizado, ou seja, a aquisição de conhecimento a medida que os ciclos sejam repetidos, ou mais rodadas executadas na fabricação [53]. Quando um processo for reiniciado, havendo uma mudança de máquina ou de produto, ocorre uma certa acomodação, com conseqüente queda da eficiência, mas que tende a melhorar na repetição dos ciclos, com o aprendizado do operador.

Este ganho de experiência se traduz em menores tempos, que viabilizam economicamente lotes com menores quantidades.

1.2.2 - A DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DO LOTE

A teoria para determinação de um tamanho de lote econômico, também identificado na literatura como quantidade econômica (Q_e), baseia-se de modo geral em definir uma quantidade cujo custo de fabricação seja mínimo, considerando-se os insumos, os valores de trabalho agregado, dos tempos de máquina, bem como dos custos para se manter os estoques [14,54,60,61,62].

Estes custos normalmente podem ser agrupados em três categorias básicas, para análise e tratamento do problema:

- custo de preparação do processo ou de "set-up";
- custo unitário de produção;
- custo de manutenção do estoque.

CUSTO DE PREPARAÇÃO OU CUSTO DE "SET-UP"

Consideram-se aqui todos os custos necessários a preparação de uma rodada de fabricação. Os principais itens computados são:

- a) mão-de-obra diretamente aplicada na preparação das máquinas;
- b) custos dos materiais e acessórios envolvidos na preparação;
- c) outros custos indiretos: administrativos, contábeis etc..

CUSTO UNITÁRIO DE PRODUÇÃO

Neste item são considerados os custos dos insumos básicos, diretamente empregados no processo produtivo como:

- a) matérias primas;
- b) mão-de-obra diretamente aplicada na produção;
- c) tempos de máquinas envolvidos.

CUSTO DE MANUTENÇÃO DO ESTOQUE

A posse do estoque tem um custo que, para a indústria, é bastante significativo e normalmente considerado para cada produto por unidade de tempo de armazenagem. Os principais itens que são considerados no seu cômputo são os seguintes:

- a) juros de capital imobilizado;
- b) risco de obsolescência do produto;
- c) prêmios de seguro, taxas e impostos;
- d) perdas por deterioração;
- e) despesas com instalações, aluguéis, iluminação, etc..

O método mais simples para determinação do tamanho do lote fundamenta-se na análise econômica dos custos, e foi inicialmente definido para dimensionar lotes de compras, adaptado posteriormente para o ambiente de manufatura, bastando que sejam considerados os tempos de preparação e encomenda como similares.

Num sistema de manufatura tradicional, em que as máquinas produzem para um determinado nível de estoque em função da demanda, o modelo clássico de lote tem melhor aplicabilidade.

Mesmo assim, é apenas um ponto de partida na definição da quantidade, que deve ser aperfeiçoada com o decorrer dos ciclos produtivos, fazendo-se os ajustes necessários em função das particularidades de cada processo.

Considerando-se, no entanto uma abordagem das modernas tendências de fabricação celular, dentro da filosofia de tecnologia de grupo, aquelas definições determinadas para os produtos isoladamente, são questionáveis, uma vez que a manufatura ocorre para uma família de peças, ou seja, um lote constituído de uma série de produtos distintos.

A definição de quantidades individuais não é mais compatível com a quantidade como uma parcela do grupo; o que significa dizer que as quantidades definidas isoladamente não serão as mesmas quando os peças estiverem reunidas em famílias.

Para melhor se situar no problema será apresentado primeiro o modelo clássico para definir o tamanho de lote econômico (Q_e), abordando-se posteriormente um tratamento dentro da filosofia de tecnologia de grupo, fazendo-se as devidas considerações.

Existe ainda uma terceira consideração que pode ser feita relativa a um tipo de fabricação em lotes, porém de regime cíclico e contínuo, que são os lotes multiprodutos[14]. Neste aspecto, são tratados aqueles lotes de vários produtos distintos, cuja produção ao longo do tempo se repete para o conjunto de itens considerados. Assim, em cada ciclo, cada um dos itens é produzido uma vez, e portanto, considerando-se a uniformidade da produção, apesar dos vários produtos, essa repetibilidade caracteriza um regime de produção contínuo, com menores tempos de "set-up". Este tipo de produção em lotes multiproduto, é típico para atender determinados sub-conjuntos de itens, principalmente linhas de montagens de determinados equipamentos, onde há repetibilidade de demanda por um conjunto de componentes.

I- UMA ABORDAGEM CLÁSSICA

A formulação para definir a quantidade econômica (Q_e) para os lotes foi montada em 1915 separadamente por Ford Harris e R.H. Wilson[98]. As principais variáveis que são consideradas na formulação, são definidas através de uma representação gráfica, mostrada na figura 1.1.

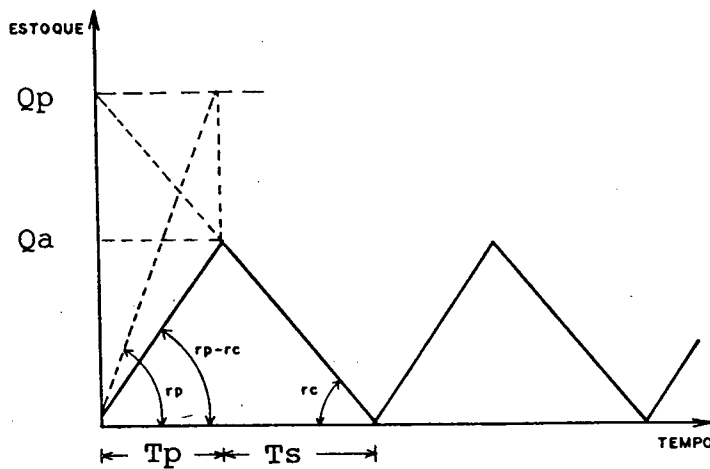


FIGURA 1.1 - Evolução do produção com o tempo

r_p = Taxa de produção

r_c = Taxa de consumo

$r_p - r_c$ = Taxa de aumento de estoque

Q_p = Quantidade produção total

Q_a = Quantidade acumulada no ciclo

T_p = Tempo de ciclo de produção

T_s = Tempo de ciclo de consumo

T_c = Tempo de ciclo total ($T_p + T_s$)

cs = Custo de "set-up" por ciclo

ce = Custo de manutenção de estoque por produto, por unidade de tempo

Equacionamento

a) Quantidade produzida em um ciclo

$$Q_p = T_p \times r_p \quad (1.1)$$

b) Custo unitário de "set-up"

$$Cs = cs / Q_p \quad (1.2)$$

c) Estoque médio

$$Q_m = Q_a / 2 \quad (1.3)$$

d) Custo de manutenção do estoque médio

$$C_m = Q_a / 2 \times c_e \times T_c / Q_p \quad (1.4)$$

e) Tempo total de ciclo

$$T_c = Q_p / r_c \quad (1.5)$$

f) Quantidade acumulada

$$Q_a = T_p \times (r_p - r_c) \quad (1.6)$$

$$\text{para } T_p = Q_p / r_p \quad (1.7)$$

$$Q_a = (r_p - r_c) \times Q_p / r_p \quad (1.8)$$

$$\text{para } \gamma = r_c / r_p \quad (1.9)$$

g) Custo total

$$CT = C_s/Q_p + c_e \times (1 - \gamma) \times Q_p / 2r_p \quad (1.10)$$

Diferenciando-se CT em relação a Q busca-se o valor de "Qe" para que o custo total seja mínimo:

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \cdot r_c \cdot C_s}{(1 - \gamma) c_e}} \quad (1.11)$$

Este valor da quantidade econômica de fabricação "Qe", pode ser representada graficamente pois indica em um gráfico de tamanho versus custo do lote, a quantidade cujo custo total é o mínimo como mostrado na figura 1.2:

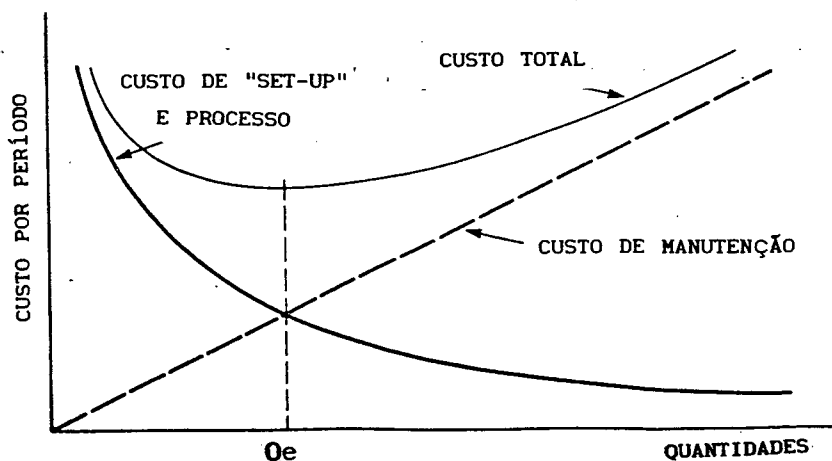


FIGURA 1.2 - Custo de fabricação do lote

O tempo ótimo para o ciclo de produção pode ser definido através das equações (1.5) e (1.11).

$$T_c^* = \sqrt{\frac{2cs}{(1-\gamma)rc \cdot cs}} \quad (1.12)$$

O LOTE MULTIPRODUTO:

Considerando-se que vários produtos sejam produzidos num mesmo ciclo, nas mesmas máquinas, o problema passa a merecer outra conotação, ou seja, determinar o ciclo de produção para o lote dos "n" produtos. Definindo-se cada produto como um elemento "j", tem-se o tempo de ciclo dado pela equação 1.12 adaptada.

$$T_c^{**} = \sqrt{\frac{2\sum cs_j}{(1-\gamma)\sum r_j c_j}} \quad (1.13)$$

Consequentemente pelas equações 1.5 e 1.13 pode-se determinar o tamanho do lote de cada um dos produtos através da equação 1.14.

$$Qe_j = r c_j \times T_c^{**} = \sqrt{\frac{\sum 2cs_i \cdot r c_j^2}{(1-\gamma)\sum r_i c_i}} \quad (1.14)$$

Na figura 1.3 é ilustrado um exemplo de lote de produção cíclico para três produtos distintos[14].

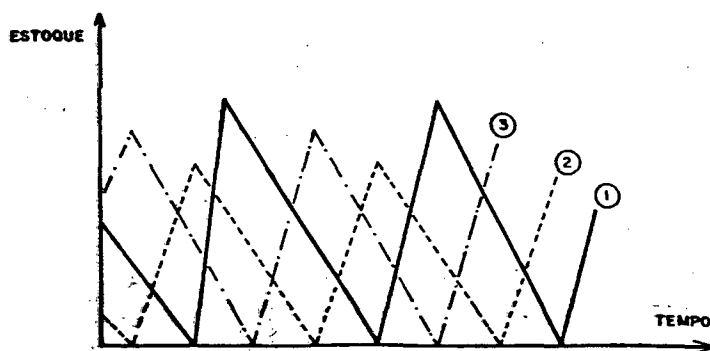


FIGURA 1.3 - Um lote cíclico multiproduto

II- UMA ABORDAGEM EM TECNOLOGIA DE GRUPO

Quando se analisar um sistema celular baseado na tecnologia de grupo para fabricação discreta de peças, deve-se considerar um componente que passa a ser bastante significativo nos custos, que é o referente ao estoque em processo. Este item não é normalmente considerado na abordagem clássica do problema de tamanho de lote, devido a sua pouca significância.

Em sistemas de tecnologia de grupo, torna-se mais marcante porque as ordens de fabricação são executadas numa sequência de operações de usinagem como um lote único, liberadas para estoque apenas quando todo o lote passar pela última operação na célula.

Por outro lado, enquanto num sistema tradicional o tempo de movimentação é muito grande, o tamanho do lote também tem pequena influência no tempo de passagem pelas máquinas. Em um sistema de tecnologia de grupo este tempo passa a ser significativo, considerando-se que haverá um estoque em processo.

Dois fatores básicos determinam o tempo de passagem numa célula de tecnologia de grupo [54]:

- 1) o tempo total de "set-up" para as máquinas da célula;
- 2) o tempo total de usinagem para todas as peças.

Os dados necessários ao cálculo do custo do estoque em processo são os normalmente disponíveis na base de dados do sistema, quais sejam os tempos padrões de usinagem, os custos de manutenção e de insumos básicos.

O MODELO DE TAMANHO DE LOTE NA TECNOLOGIA DE GRUPO

Define-se primeiramente um valor médio do estoque em processo para cada ciclo (W_c), em função dos custos de material e do trabalho agregado, onde se consideram [54].

$$W_c = (M + v/2) \times Q \quad (1.15)$$

para os valores das variáveis:

M = custo unitário da matéria prima

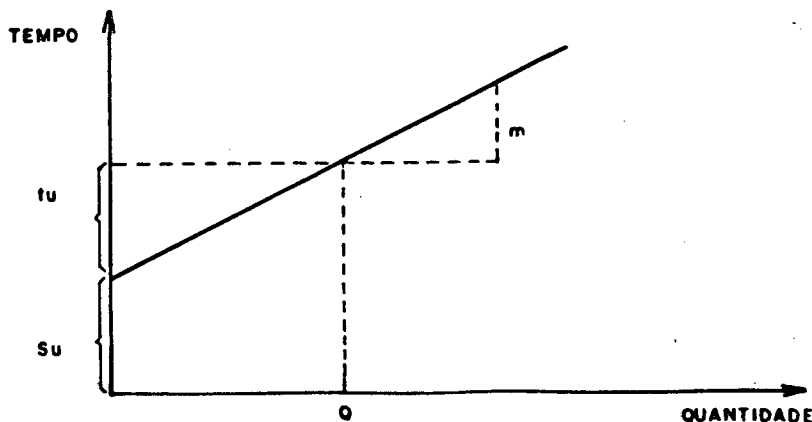
v = valor agregado no processo por unidade

Q = tamanho do lote

O valor médio anual do estoque em processo (W_a), pode ser definido considerando-se o tempo total de passagem do mesmo pelas máquinas $t(Q)$, e ademandas anual(D) em um número de ciclos correspondente ao quociente D/Q , resultando:

$$W_a = (M + v / 2) \times D \times t(Q) \quad (1.16)$$

O tempo total de passagem define-se como $t(Q) = S_u + mQ$ conforme mostrado na figura 1.4, onde m representa o tempo total de usinagem para cada produto, e S_u a soma dos tempos de "set-up" para todas as máquinas.



$$t(Q) = t_u + S_u$$

$$t(Q) = mQ + S_u$$

FIGURA 1.4 - Tempo de passagem nas máquinas

Computando-se o custo de manutenção do estoque pela aplicação de uma taxa (i) define-se o custo anual por K(W).

$$K(W) = i(M + v/2) \times (Su + mQ) \times D \quad (1.17)$$

Somando-se todas as parcelas tem-se o custo total:

$$K(Q) = A D / Q + i C Q / 2 + i(M + v/2) (Su + mQ) \times D \quad (1.18)$$

para as definições das variáveis:

A = custo unitário de "setup"

C = custo unitário de produção

R = custo unitário do tempo de operação da célula

Considerando-se C e Q variáveis em função de t, tem-se:

$$v(Q) = (Su/Q + m) \times R \quad (1.19)$$

$$C(Q) = M + v(Q) \quad (1.20)$$

Substituído-se estes termos na equação do custo total (1.18) e buscando-se o valor da quantidade para que o custo seja mínimo obtem-se a equação:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 A D + D Su (i Su R)}{i(M + mR) + 2 i (M + m R/2)}} \quad (1.21)$$

Comparando-se as duas formulações, clássica e para GT, constata-se que o primeiro termo do numerador e denominador na fórmula para GT corresponde a fórmula clássica, ou seja, o termo adicional na segunda formulação contempla a influência do estoque em processo. Uma vez o tamanho do lote conhecido, seu tempo para produção determina o tempo de ciclo.

Na formulação para o modelo obtido, o fator "Dm" que significa o tempo total de usinagem para a demanda (D), somado ao tempo de "set-up", dado por $Su(D/Q)$, caracterizam o tempo total para fabricação.

Pode-se analisar o regime de ocupação de uma célula através da comparação destes tempos no período considerado para a demanda, em termos percentuais, verificando-se três situações:

$$I) Su(D/Q) + Dm = 1$$

Esta situação caracteriza ocupação total da célula, ou seja, sempre haverá um lote em produção, e um correspondente valor de estoque em processo.

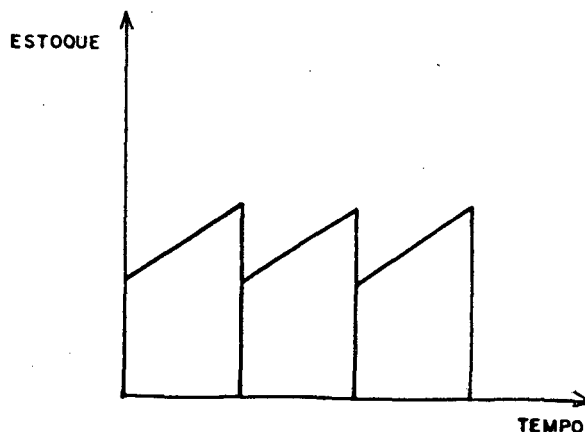


FIGURA 1.5 - Modelo de ciclo contínuo de fabricação

II) $Su(D/Q) + D_m < 1$

Situação que corresponde a ocupação parcial, isto é, a produção da célula excede a demanda.

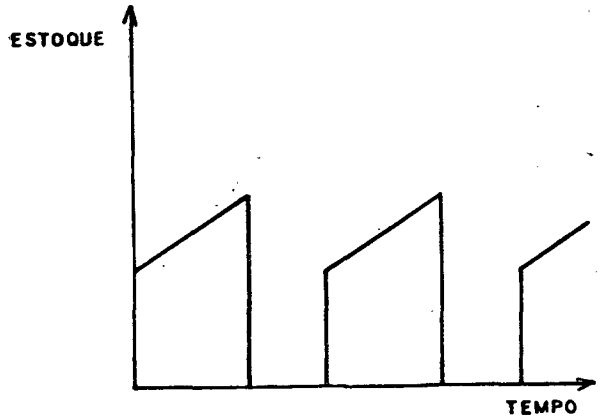


FIGURA 1.6 - Modelo de ciclo intermitente de fabricação

III) $Su(D/Q) + D_m > 1$

Situação indicativa de mais de um lote em produção em diferentes estágios na célula ao mesmo tempo. Esta situação é possível na célula porque a totalidade do lote é usinado em cada máquina sequencialmente, e enquanto um lote já houver passado por determinadas máquinas, outro lote poderá ser admitido na célula.

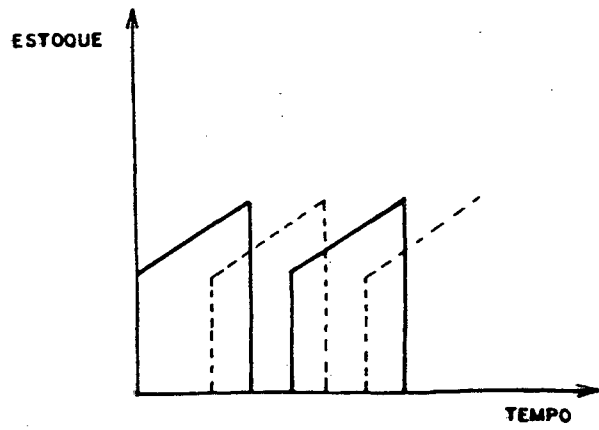


FIGURA 1.7 - Modelo de ciclo de lotes sobrepostos

1.3 - O ARRANJO FÍSICO NA ÁREA DE MANUFATURA

O tipo de arranjo físico para máquinas e demais equipamentos de um sistema de manufatura assumem relevante destaque, não somente em função dos processos, mas principalmente pela racionalização dos tempos de passagem entre estes. Em que se considere apenas o aspecto principal, que é a disposição das máquinas, tem-se três sistemas básicos de "lay-out" comumente encontrados nas instalações industriais, que são respectivamente: os arranjos em linha, funcional e de grupo.

1.3.1 - "LAY-OUT" EM LINHA

Trata-se do arranjo das máquinas em uma linha de produção cuja seqüência é adequada a determinado tipo de produto, conforme esquema da figura 1.8. É um sistema utilizado para processos industriais relativamente simples, linhas de montagens ou de produção em massa para grandes quantidades. Caracteriza-se assim por uma constituição basicamente de máquinas muito específicas, alguns sistemas de transporte e manuseio dedicados. A produtividade fica condicionada a velocidade da linha, que deve ser adequadamente balanceada, e a mão-de-obra aplicada é relativamente pequena.

Por se considerar que a especificação e disposição das diferentes máquinas é condicionada a determinado produto, fica evidente neste tipo de arranjo a pouca flexibilidade operacional.



SE = Serra
 TO = Torno
 FU = Furadeira
 FR = Fresadora
 RE = Retífica

FIGURA 1.8 - Esquema de um "lay-out" em linha

1.3.2 - "LAY-OUT" FUNCIONAL

Trata-se da modalidade de "lay-out" mais comum e antiga encontrada na maioria das instalações industriais de manufatura. Todas as máquinas de um mesmo tipo são dispostas juntas, constituindo-se assim num arranjo típico de especialização por processo, porque as máquinas que realizam processos semelhantes ficam agrupadas numa mesma área física no espaço da indústria. Sob o aspecto operacional, caracteriza-se uma circulação de produto entre áreas de equipamento em que deve ocorrer o processamento. Estas áreas se constituem em seções de determinados tipos de máquinas semelhantes, como seções de tornos, fresadoras, retíficas, furadeiras, etc., ver figura 1.9.

Pela caracterização de arranjos independentes de tipo de produto, é permitida uma grande flexibilidade para diferentes especificações na fabricação e variações na demanda.

Os maiores inconvenientes decorrentes deste tipo de arranjo são os longos tempos de percurso entre as máquinas, e consequentes elevados estoques em processo, com baixos índices de produtividades e longos prazos para fabricação.

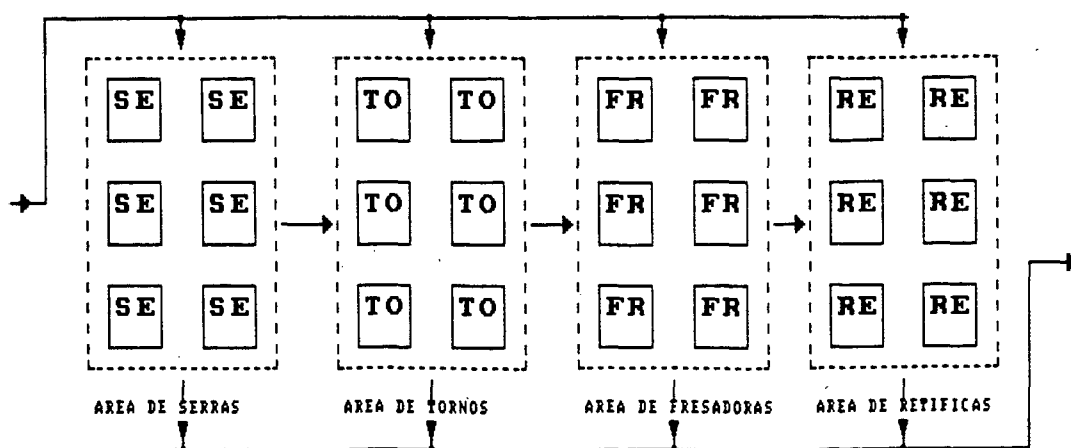


FIGURA 1.9 - Esquema de um "lay-out" funcional

1.3.3 - "LAY-OUT" DE GRUPO (CELULAR)

As máquinas são arranjadas em grupos de tipos diversos, destinadas a atender inteiramente a fabricação, não mais de um determinado produto, mas de uma família de peças.

É o tipo de "lay-out" com maior tendência de utilização na atualidade pela engenharia industrial, em que se busca no suprimento dos processos necessários a produção de determinadas peças, uma especialização por componentes, quando se determina o arranjo. Caracteriza-se assim pela diversificação de produtos, ou seja, uma família de peças com diferentes tamanhos de lotes. Em relação a outros tipos de arranjo, diminuem consideravelmente os tempos improdutivos, como os de movimentação e manuseio das peças, além dos de preparação das máquinas. Reunem-se assim as vantagens dos arranjos em linha e funcionais, pois se dispõe de todas as máquinas próximas umas das outras, na sequência mais adequada ao processo, ao mesmo tempo que se tem a flexibilidade de execução, não mais para um só produto, mas uma família deles, ver figura 1.10.

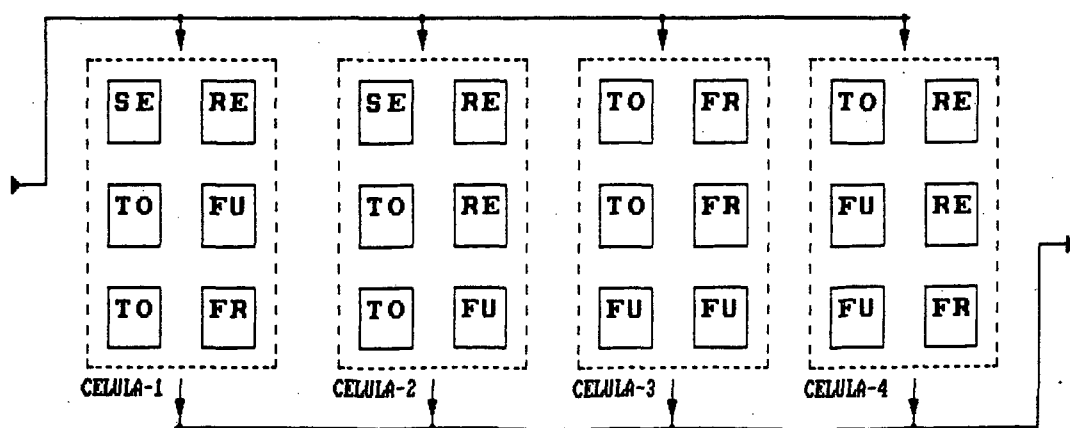


FIGURA 1.10 - Esquema de um "lay-out" de grupo

C A P Í T U L O 2

2.0 - TECNOLOGIA DE GRUPO

De modo um tanto genérico, pode-se conceituar Tecnologia de Grupo como uma filosofia que define a solução de problemas explorando semelhanças, para se obter vantagens operacionais e econômicas. Sob o aspecto de manufatura, aplica-se como filosofia de organização, notadamente agrupando peças e recursos para a fabricação. O agrupamento em famílias, é determinado por meio de alguma metodologia, reunindo semelhanças de projeto ou processos.

Estas peças uma vez definidas em famílias, passam a ser consideradas, para fins de planejamento produtivo, não mais em vários lotes pequenos, mas sim como uma produção em série de todo o grupo. Assim cada família de peças passa a ser tratada como uma peça composta com todos atributos do grupo em que se insere[12]. Busca-se deste modo, obter para manufatura de pequenos lotes, as vantagens, principalmente econômicas, de uma produção em massa.

Para implantação dos princípios de Tecnologia de Grupo, toda uma reorganização do ambiente de manufatura se faz necessária. As principais etapas que devem ser consideradas neste processo podem ser citadas como:

- adequação do "lay-out" físico;
- implantação de um sistema de codificação e classificação;
- racionalização de projetos e processos de fabricação;
- formação de famílias de peças e células de máquinas.

Dentre estas etapas, um dos principais aspectos é a organização das famílias e células, resolvendo-se um dos maiores entraves a eficiência na produção de peças usinadas, que são os tempos não produtivos, notadamente os de preparação de máquina.

Constata-se em sistemas tradicionais de manufatura com "lay-out" funcional, que do tempo total dispendido para a fabricação, apenas 5% corresponde efetivamente tempo de peça nas máquinas[5]. O tempo restante, não produtivo, deve-se a operações essencialmente de movimentação, ajustes, ou períodos de espera.

Na concepção de célula, as máquinas dispostas de modo adequado e próximas umas das outras para atender aos processos de uma família de peças, minimizam drasticamente esses tempos.

Por outro lado deve-se considerar também que, do tempo total em que a peça permanece na máquina, apenas em torno de 30% representa efetivamente tempo de corte. O restante corresponde a ajustes de máquina e ferramentas, e quando estes são realizados não para cada peça, mas sim para a família considerada, são significativos os ganhos de produtividade neste aspecto.

Analisando-se a filosofia de um modo mais amplo, tem-se inúmeros benefícios de curto prazo, entre os quais podem ser citados:

- controle mais eficiente do projeto do produto;
- ausência ou minimização de estoques intermediários;
- simplificação do planejamento de processo;
- racionalização da programação da produção;
- melhor acesso e precisão das informações;
- significativa economia de custos de produção.

A longo prazo, um dos aspectos de maior importância da Tecnologia de Grupo, é que, além de propiciar meios essenciais para uma maior produtividade, quando adotada numa organização industrial, estabelece bases necessárias para a implantação da fabricação assistida por computador [9,13].

2.1 - ASPECTOS HISTÓRICOS

O termo Tecnologia de Grupo, tem origem relativamente recente, mas a idéia de produzir componentes de características semelhantes de maneira agrupada, utilizando métodos de fluxo em linha para fabricação em lotes, é bem mais antiga. A diferença entre as idéias colocadas no passado, e dos dias atuais é que hoje há um coerente conjunto de conhecimentos e conceitos organizados, utilizando técnicas e recursos modernos, cuja aplicabilidade é crescente nas indústrias de manufaturados.

Embora alguns trabalhos tenham sido desenvolvidos nas décadas de 30 e 40 enfocando alguns aspectos da produção em lotes e agrupamento de máquinas, é na década de 50 que a filosofia começa a tornar-se consistente e racionalizada.

Pode-se assinalar como um marco no desenvolvimento científico, o importante trabalho apresentado na Rússia, "Scientific Principle of Group Technology", do engenheiro S.P. Mitrofanov[4]. O conceito básico então apresentado por Mitrofanov era de agrupar peças com similaridade geométrica em famílias para serem fabricadas em uma única máquina. Reduziam-se assim ao mínimo os tempos de preparação da máquina entre um tipo e outro de peças daquela limitada família, para as operações necessárias.

Na década de 60 os princípios de Mitrofanov, se difundem pela Europa, notadamente na Alemanha e Inglaterra, onde surgem novos e importantes trabalhos. O conceito evolui então para a fabricação em famílias de peças em mais de uma máquina, ou seja, num agrupamento conceituado como célula de manufatura.

Na Universidade de Aachen, na Alemanha Ocidental, Opitz realiza importante trabalho de investigação estatística para peças, lançando as bases do seu sistema de classificação e codificação para peças, amplamente difundido nos meios de pesquisa e aplicado com adaptações em ambientes industriais [87].

Na Inglaterra, vários trabalhos foram desenvolvidos e empregados nas indústrias, destacando-se Brisch no aspecto de sistema de classificação. Outro importante destaque foi o método apresentado por Burbidge, de análise do fluxo de produção (PFA), para considerar as rotas e sequência das peças entre as máquinas [2,92]. A metodologia foi amplamente difundida e aplicada no meio científico, servindo de embasamento em inúmeros outros trabalhos desenvolvidos para agrupamento de peças.

Na Tchecoslováquia, institutos de pesquisa como o VUOSO e VUSTE, desenvolveram trabalhos na área de Tecnologia de Grupo, destacando-se a criação dos respectivos sistemas de classificação e codificação. Em diversos outros institutos europeus, foram desenvolvidos trabalhos referentes a Tecnologia de Grupo, como no TNO da Holanda, NAAK da Noruega, PGM na Suíça, e em setores ligados às indústrias como FIAT na Itália, e a SULZER na Suíça.

Nos Estados Unidos, alguns trabalhos de interesse em classificação e codificação foram apresentados pela Brisch-Birn, uma empresa de consultoria, destacando-se em especial aquele que foi realizado para Allis-Chalmers, aplicando os princípios da Tecnologia de Grupo na implantação de novas unidades fabris. Um maior desenvolvimento de aplicações, começaram a ocorrer nos Estados Unidos a partir da década de 70, principalmente associado à sistemas auxiliados por computador, e a maior automatização com as máquinas de comando numérico na manufatura.

No Japão, a Sociedade Japonesa para Promoção de Máquinas (JSPMI), promoveu importantes estudos sobre temas de Tecnologia de Grupo desde 1967[90]. As pesquisas e as investigações foram realizadas em cooperação com o Laboratório de Engenharia Mecânica (Kikai Gijutsu Kenkyujo), Centro Geral de Fundação (So-go Iomo Center), Empresas e Universidades. Dentre os mais importantes resultados destes trabalhos estão os sistemas de codificação e classificação como o KK-1 (1970), o KK-2 (1973), KK-3 (1976), amplamente difundidos nas indústrias japonesas.

O Comitê de Estudos de Tecnologia de Grupo, coordenado pela Sociedade Japonesa para Promoção da Indústria Mecânica, realizou importantes avaliações do desenvolvimento e aplicação da Tecnologia de Grupo nas principais indústrias japonesas entre 1969 e 1973, colhendo experiência e incentivando a implantação em indústrias metalúrgicas [90]. Desde a década de 60, portanto que os japoneses vem adotando os conceitos de Tecnologia de Grupo e promovendo a sua implantação a nível mundial associados a outras importantes técnicas como "Just-in-Time" com excelentes resultados em qualidade e produtividade.

O estágio atual de desenvolvimento da GT está sendo conduzido com uma combinação de conceitos de simplificação e integração no ambiente de manufatura. Novas técnicas estão sendo utilizadas, suportadas por bases de conhecimento pelo uso de regras e algoritmos heurísticos, estabelecidos para a configuração dos sistemas. Estas tendências se caracterizam por uma visão mais holística para uso da GT na manufatura, uma melhor integração das informações no processo produtivo, aplicação de técnicas não determinísticas para a geração de famílias, como ferramentas de inteligência artificial [99].

2.2- FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS DE PEÇAS

O termo família é usado para designar uma lista de peças agrupadas por suas características de similaridade. Não existem regras rígidas, ou gerais para determinar que peças serão agrupadas em que famílias. Cada tipo de usuário poderá definir seus próprios critérios, para determinar como será para seus objetivos, uma família de peças.

Quando o interesse maior for o planejamento do processo, todas as peças agrupadas devem requerer semelhantes planos de processo, podendo então um processo padrão ser compartilhado por todos componentes da família [13].

Deve-se considerar no entanto, que a formação das famílias de peças é um requisito básico, para que dentro da filosofia de Tecnologia de Grupo, se possa projetar uma célula de manufatura, ou seja, organizar um "lay-out" de grupo.

Os critérios estabelecidos para se buscar este agrupamento podem conduzir a famílias cujas peças tenham similaridade de forma ou de processo de fabricação. Assim quando o agrupamento considera as peças que podem ser fabricadas nas mesmas máquinas, tem-se uma família de produção[2]. Não se busca identificar diferenças entre as peças, mas sim semelhanças, o que também não significa dizer que a família de processo deva manter estreita semelhança de forma. São executadas nas mesmas máquinas, porque exigem os mesmos processos. Isto evidentemente dentro de determinados limites que são estabelecidos, como tolerâncias ou ordem de grandezas e outras características.

Nas Figuras 2.1a e 2.1b são mostradas duas famílias, cujas peças foram agrupadas por semelhanças de processo, e forma geométrica.

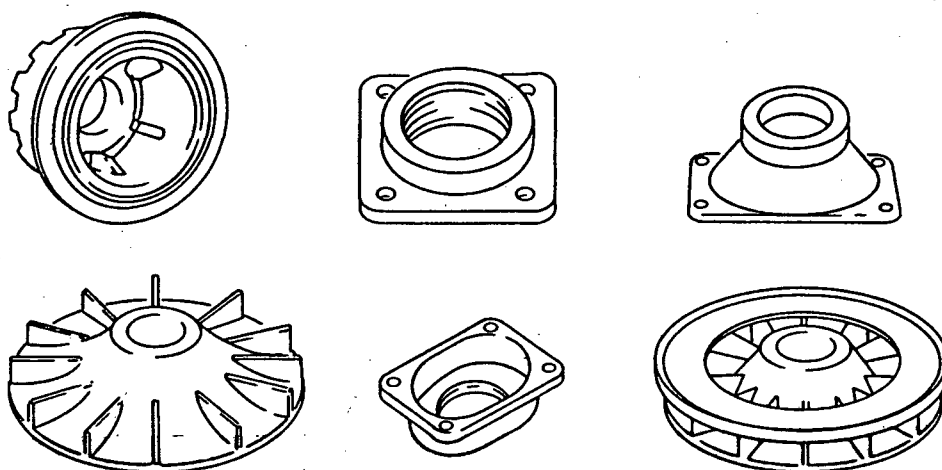


FIGURA 2.1a - Peças agrupadas por critério de processo

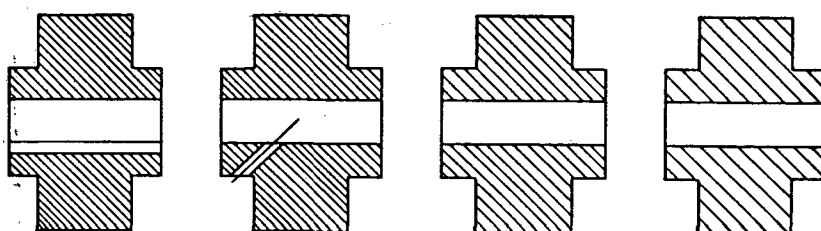


FIGURA 2.1b - Peças agrupadas por critério geométrico

Do mesmo modo determinadas peças que por características geométricas se agrupariam numa mesma família, podem vir a exigir máquinas muito diferentes para sua execução, em função de fatores como o tamanho, o grau de precisão necessária, ou processos muito específicos. Seriam peças com semelhanças geométricas mas que devido a processos distintos, estes inviabilizam o agrupamento em famílias para efeito de manufatura.

A determinação das famílias, tem portanto um grau de importância destacado como etapa inicial, pela sequência de todas as implicações que incidirão na manufatura, de acordo com os critérios adotados. Estes critérios, é que irão tornar viáveis estudos racionais para o grupo, e um tratamento mais generalista que permita se obter vantagens, principalmente econômicas.

Vantagens estas, que não seriam possíveis se fosse dado um tratamento peça a peça, principalmente em pequenos e médios lotes de fabricação.

Uma vez em se adotando a filosofia de Tecnologia de Grupo, muda-se radicalmente a maneira de conduzir todo um sistema de manufatura. Desde o "lay-out" das máquinas, a abordagem das ferramentas e dispositivos, ao trabalho dos operadores. Deixa-se de ter como alvo um determinado produto, para se tratar de uma família de produtos ou peças.

Uma das maiores dificuldades para passar de um sistema tradicional de produção para um enfoque de Tecnologia de Grupo, é justamente o agrupamento das peças em famílias.

Existem quatro metodologias básicas para se resolver o problema, todos requerendo análise de dados por especialistas treinados, consumindo conseqüentemente tempos significativos. Os métodos considerados são os seguintes:

- inspeção visual;
- análise do Fluxo de Produção;
- classificação por um código;
- reconhecimento de padrões.

2.2.1 - INSPEÇÃO VISUAL

Consiste em agrupar as peças apenas pela análise visual de suas características. É um método muito simples e pouco dispendioso, mas também o menos eficiente [34]. Ele é altamente dependente da experiência humana, além de ser limitado pelo número de peças que podem ser fisicamente manuseadas em tempos aceitáveis. Aplicação fica portanto restrita a pequenos números de peças em casos muito particulares.

2.2.2 - ANÁLISE DO FLUXO DE PRODUÇÃO (PFA)

É uma técnica analítica para se encontrar famílias por uma análise progressiva das informações contidas nas folhas de processos dos componentes[91]. A análise do fluxo de produção é uma técnica que analisa sequência de operação, e percurso das peças através das máquinas, e estações de trabalho dentro da fábrica. As peças são agrupadas portanto pelas rotas comuns, ou seja, pelas coincidências dos fluxos de processo definidos para cada componente, independente de tamanho ou formato geométrico. O método por embasar-se nas rotas de processo das peças, tem sua precisão limitada, e dependente da confiabilidade dos dados registrados nas folhas de processo. É recomendado para manipulação com lotes médios e repetitivos, e por ser um método relativamente simples e que requer apenas a análise das folhas de processo, é recomendável também como método inicial para se introduzir a Tecnologia de Grupo na área de manufatura dentro de um ambiente industrial.

Pela natureza das informações em que se apoia, o método é restrito a área de manufatura e não traz outros benefícios tecnológicos adicionais aos demais ambientes industriais.

Vários algoritmos foram desenvolvidos por pesquisadores e propostos para resolver o problema do agrupamento pela análise do fluxo de produção (PFA) [11,12,17,18,19,25,39,47,64,75].

Nos métodos de análise de fluxo de produção (PFA), trabalha-se sobre uma matriz que relacione as máquinas e as peças que é a chamada matriz de incidência peça-máquina. Procura-se reunir aquelas peças que necessitem dos mesmos processos e tenham um mesmo fluxo na fabricação, de acordo com parâmetros de similaridade, através das chamadas de técnicas de "clustering".

Os diversos métodos de agrupamento que são tratados na literatura como técnicas de "clustering", utilizam algoritmos de manipulação e análise sobre a matriz que representa uma relação entre as peças e as máquinas.

Na formulação da matriz, cada elemento $a(i,j)$ relaciona uma peça "i" com a máquina "j", indicando se a incidência existe ou não, isto é, indicando se a peça é processada naquela máquina correspondente, ou não.

Na maioria dos métodos esta incidência é assinalada pelo valor "1", quando a peça é processada na máquina, e "0" quando o fato não ocorre. Esta indicação no entanto, pode ser assinalada por outro símbolo qualquer, até permanecendo em branco no caso de não incidência (ver figura 2.2), ou mesmo ser assinalada com o próprio tempo de processamento da peça na máquina considerada.

A aplicação de um algoritmo de agrupamento visa identificar as famílias de peças com semelhanças nos fluxos de processos e destacar as correspondentes células de máquinas.

Considere-se a seguinte matriz representativa de quatro máquinas e cinco peças para ilustrar a metodologia básica.

		PEÇAS				
		1	2	3	4	5
MÁQUINAS	1		1		1	1
	2	1		1		
	3		1		1	
	4	1		1		

FIGURA 2.2 - Matriz de incidência peça-máquina

Devidamente manipulada a matriz, com algumas trocas de posição nas linhas e colunas, pode-se destacar duas células distintas de máquinas com as correspondentes famílias de peças, como mostrado na figura 2.3.

		PEÇAS					
		1	3	2	4	5	
MÁQUINAS	2	1	1	.			CÉLULA - 1
	4	1	1	.			
						
	1			.	1	1	CÉLULA - 2
	3			.	1	1	

FAMÍLIA - 1
FAMÍLIA - 2

FIGURA 2.3 - Matriz peça-máquina com células destacadas

Uma análise subsequente mais detalhada é necessária para se ajustar e ratificar a formação das células, fundamentando-se em parâmetros e condicionamentos operacionais estabelecidos entre outros, naqueles relativos aos seguintes aspectos:

- custos de produção;
- tempos de processamento;
- frequência de movimentação de uma peça durante o processo;
- limite de ciclos que um sistema de movimentação suporta;
- tempo máximo disponível de processamento por máquina;
- limite de máquinas por células;
- limite do porte das máquinas por células.

As restrições impostas, além de outras características inerentes ao próprio algoritmo, poderão definir a existência de peças que não cabem em nenhuma família estabelecida. São peças que rejeitadas pelos processos de agrupamento, são isoladas para um tratamento especial. Estas peças isoladas devem ser enquadradas em uma das seguintes situações operacionais:

- a) - serem fabricadas em um ambiente de "lay-out" funcional;
- b) - terem as rotas de processos alteradas, buscando-se num plano alternativo a adequação as células existentes;
- c) - serem reprojetadas, de modo que se tornem compatíveis com os aspectos de processos dos demais itens existentes;
- d) - terem sua fabricação contratada com terceiros.

2.2.3 - CLASSIFICAÇÃO POR UM CÓDIGO

O método pressupõe um sistema de codificação, quer seja de propósito geral ou específico, que permita codificação das peças onde atributos geométricos, de processo, ou outros sejam, de modo claro e preciso, bem representados.

Este código não deve ser muito complicado, para não vir a dificultar a formação de famílias, nem tão simples que se torne pouco representativo dos atributos da peça [34].

Uma vez as peças estando codificadas, e de acordo com determinados parâmetros, definidos em função dos critérios de similaridade desejados, pode-se inferir sobre os códigos para determinar os agrupamentos.

Diversos critérios podem ser estabelecidos para se agrupar as peças, dando-se maior ou menor flexibilidade a variação de determinados campos representativos de algumas características dentro do sistema de classificação adotado.

CLASSIFICAÇÃO

A classificação pode ser feita basicamente sob três orientações quanto ao seu objetivo, que são:

I)- Classificação orientada por características de projeto:

Consiste em se buscar uma classificação pelas características que possibilitem identificar famílias de peças pelos atributos de projeto. Uma classificação por este critério pode não ser tão útil e interessante sob o ponto de vista de manufatura, mas o é principalmente para controle e recorrência a desenhos, permitindo sua racionalização.

Apenas similaridades de formas ou dimensionais, que são identificados por atributos de projeto, não necessariamente irão garantir que as peças poderão constar numa mesma família de fabricação. Aquelas diferenças na matéria prima, ou tolerâncias, podem requerer diferentes processos para a manufatura e distribuir as peças em células distintas, para fabricação.

II)- Classificação orientada por identidade de processos:

Busca-se com este critério agrupar componentes com similaridade nos processos de fabricação.

III)- Classificação orientada por identidade de rotas:

Constitui-se no agrupamento de componentes por coincidência de rotas, ou seja, reunião daquelas peças que tem sequência comum de processos pelas mesmas máquinas. Evidentemente que, determina-se assim apenas uma aproximação das famílias que devem ser balanceadas de acordo com as capacidades das máquinas de que se dispõe e outras limitações. Após as peças agrupadas em famílias pela similaridade de seus códigos, selecionam-se as respectivas máquinas necessárias a sua execução, isto é, a célula.

Do ponto de vista de metodologias para classificação, dois tipos de abordagens podem ser feitas sobre os códigos para se fazer um agrupamento de peças, baseando-se principalmente sobre o tipo de estrutura do sistema de codificação. São aquelas metodologias respectivamente denominadas como [66]:

- abordagem do "código de campo";
- abordagem de "dados característicos".

CÓDIGO DE CAMPO

De modo geral pesquisa-se um determinado campo de código para agrupar aquelas peças que se enquadram dentro de uma faixa de valores admitidos como limitantes da similaridade desejada. Tem-se assim uma matriz relaxada para o agrupamento onde todos aqueles códigos que ali se inserirem, as respectivas peças integrarão a família procurada, conforme ilustrado pela figura 2.4. A medida que se admita um menor grau de semelhança obtém-se um maior número de peças [55].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
			0			2	7	4	5	1	2		0				0				0	0		0	
		6	:			:	:	:	:	:	:		:				:				:	:	:	:	:
2	8	7	1	1	0	3	0	5	0	1	4	2	7	1	3	3	4	2	0	0	1	2	1	5	5
						:	:	:	:	:	:		:				:				:	:	:	:	:
9	9					3	6	5	7	2	2		9				9				9	9		9	

FIGURA 2.4 - Matriz relaxada para alguns códigos de campo

O grau de semelhança, naturalmente é determinado pelo usuário dentro de critérios que lhe interessem, sejam eles sob o enfoque geométrico, de processo, ou inerente a características de máquinas que estejam definindo alguns parâmetros limitantes.

DADOS CARACTERÍSTICOS

Esta metodologia tem como elemento base, para a classificação de peças, uma matriz que define as características possíveis para o agrupamento. Nesta matriz, colunas correspondem às posições dos dígitos no código, e as linhas assinalam aqueles valores possíveis admitidos para respectivas posições de código.

Assim todas aquelas peças cujos códigos forem compatíveis nas respectivas posições, com as alternativas da matriz, poderão integrar-se à aquela família.

Na figura 2.5 é ilustrada uma matriz assim definida para um determinado agrupamento de peças[87].

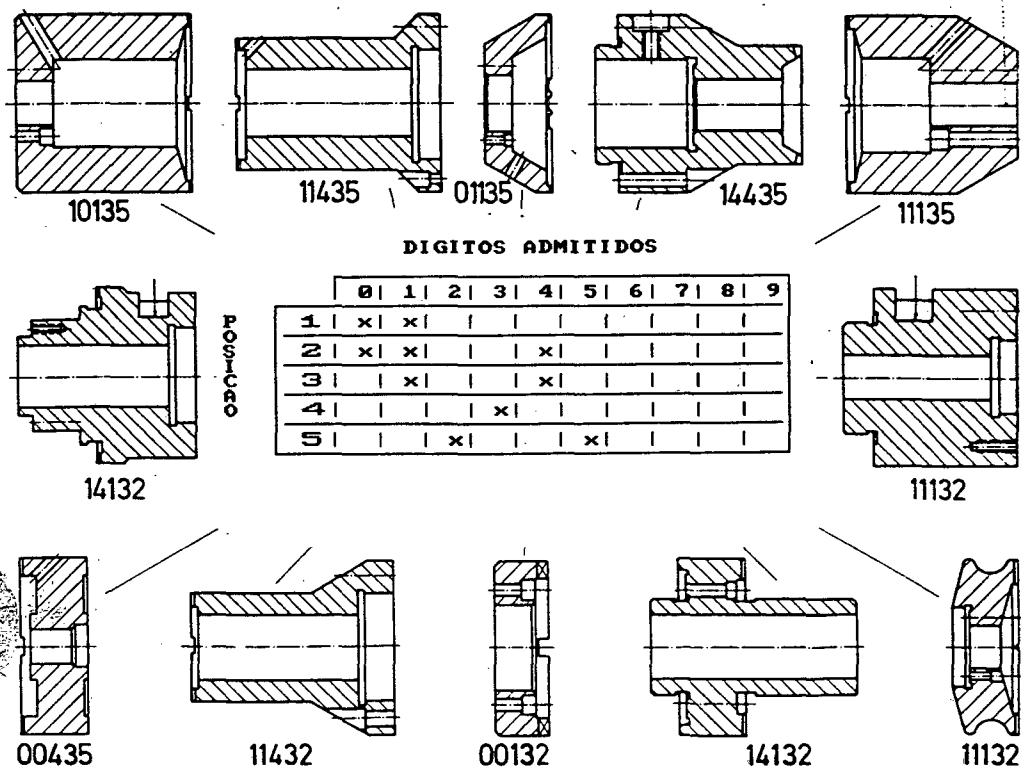


FIGURA 2.5 - Matriz representativa de família de códigos

2.2.4-RECONHECIMENTO DE PADRÕES

O método de reconhecimento de padrões, vale-se da determinação de alguns padrões para serem comparados com demais itens, dentro de uma amostra, para agrupá-los em lotes de acordo com certo grau de semelhança entre os elementos.

Os critérios de similaridade são determinados através de funções de avaliação dos elementos da amostra, por algum processo, como analiticamente quantificados, e traduzidos em uma forma representativa do seu "status" para efeito comparativo com o modelo ou padrão pré-determinado.

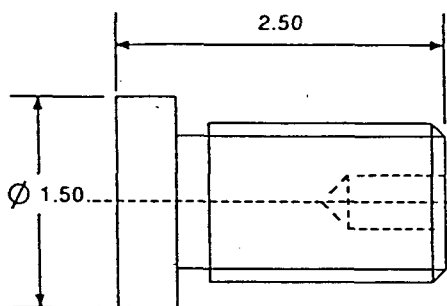
No caso de peças, uma destas metodologias considera a tabulação das características geométricas e tecnológicas, através de uma matriz binária, onde cada elemento representa um atributo. Nesta matriz, determina-se um parâmetro representativo de cada peça, ou seja, avaliam-se as características através de uma função analítica, que define um potencial de cada peça. Na etapa de classificação, o agrupamento é definido pela aproximação deste potencial com aquele do padrão adotado [72].

Uma outra abordagem pode considerar apenas as características geométricas ("features"), que estejam inseridas na peça analisada. Dispondo-se de uma biblioteca de "features", pode-se identificar cada uma delas, com a posição correspondente no vetor binário representativo da peça, assinalando com valor igual a 1, a ocorrência da característica [100]. Constituem-se assim vetores binários representativos dos atributos geométricos das peças, que podem ainda conter algumas outras informações, como por exemplo maior diâmetro e o comprimento, como mostrado na figura 2.6.

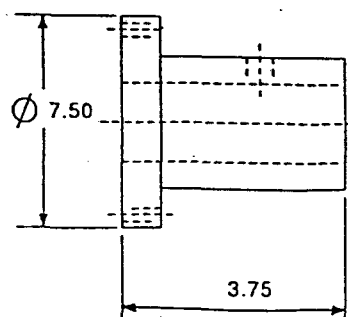
Para efeito de classificação e agrupamento destes vetores, podem ser-lhes atribuídos pesos diferenciados em algumas das posições. Esta ponderação visa destacar algumas das mais significativas características do ponto de vista de complexidade, ou de interesse para fins de agrupamento. Sobre cada vetor é então calculado um valor significativo que servirá de meio para a classificação das peças em famílias.

A vantagem de técnicas de reconhecimento de padrões, é que elas dispensam a existência de sistemas de codificação, pois a computação de características é feita analisando-se apenas dados extraídos diretamente de um desenho, traduzido para um modo gráfico ou analítico de representação.

característica	descricao	desenho
1	sem elemento de forma	
2	escalonado em um sentido	
3	furo axial passante	
4	furo axial escalonado um sentido	
5	rosca externa	
6	furo radial	
7	furo axial cego	
8	furo axial fora do centro	
9	dente de engrenagem	
10	rasgo de chaveta externo	



$P1 = (0,1,0,0,1,0,1,0,0,0,2,5,1,5)$
 comprimento
 diametro



$P2 = (0,1,1,0,0,1,0,1,0,0,3,75,7,5)$
 comprimento
 diametro

FIGURA 2.6 - Reconhecimento de padrões por "features"

2.3-OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO

2.3.1-CARACTERÍSTICAS E FINALIDADES

Por um sistema de codificação entende-se uma metodologia de formação de um código numérico ou alfanumérico, com finalidade de expressar características de um objeto ou processo. As características podem ser descritivas, funcionais, ou uma combinação destas, de acordo com objetivos da utilização. Um sistema pode ser de propósito geral, isto é, para cobrir uma variada gama de atividades, ou ser específico, dirigido a determinado segmento de aplicação industrial.

Na área de manufatura, onde um código de produto se constitui em ferramenta essencial para a Tecnologia de Grupo, ele deve ter características especiais que garantam os benefícios esperados na sua aplicação.

Dentre os principais benefícios podem ser citados [10]:

- 1)-permitir a formação de famílias de peças e grupo de máquinas;
- 2)-permitir a recuperação de desenhos e processos;
- 3)-racionalização e redução nos custos de projetos;
- 4)-padronização de projetos e produtos;
- 5)-estabelecer estatísticas sobre as peças;
- 6)-permitir estimativas de ferramentas e cargas de máquinas;
- 7)-racionalização de ferramental com redução de tempos de preparação das máquinas;
- 8)-padronização de ferramental e de processos;
- 9)-racionalização da programação e planejamento da produção;
- 10)-estimativas e contabilidade de custos mais apurados;
- 11)-estabelecimento de uma base de dados de manufatura.

Ainda analisando-se com ênfase nas aplicações na Tecnologia de Grupo, um sistema de classificação e codificação deve possuir algumas características operacionais básicas, como:

- 1)-ser suficientemente abrangente, para englobar todos os itens do universo de produção em que está inserido;
- 2)-mutuamente exclusivo, no sentido de permitir incluir semelhanças ou excluir diferenças, usando-se parâmetros claramente definidos;
- 3)-basear-se em características permanentes que sejam facilmente identificáveis;
- 4)-adaptável a mudanças e expansões tecnológicas;
- 5)-ser compatível com aplicações computacionais, e permitir integração com sistemas CAD/CAM.

Sob o aspecto construtivo, num sistema de codificação, alguns fatores essenciais que devem ser considerados, são:

- 1)-o universo do alvo específico da aplicação, como o tipo de produto, tipo de usuário, e resultados esperados;
- 2)-as características que devem ser representadas pelo código para sua aplicabilidade (atributos físicos, funcionais etc.);
- 3)-o tipo de estrutura para o código que melhor represente aquelas características desejadas;
- 4)-o tipo de representação digital adequado a utilização que se propõe, (numérica, alfanumérica, decimal, binária, etc.).

FINALIDADES NUM AMBIENTE DE PROJETO

Um código bem concebido é elemento fundamental para as aplicações em sistemas de manufatura auxiliados por computador, dentro dos conceitos da filosofia de Tecnologia de Grupo, além de ser um fator de integração interdepartamental.

Codificando-se desenhos, através de um sistema que descreva a forma geométrica, resulta em que peças similares ou idênticas terão códigos iguais ou semelhantes, e estes quando classificados aparecerão agrupados, numa mesma coleção. Assim sempre que novo desenho for gerado, o projetista poderá já na sua concepção, atribuir-lhe uma prévia codificação e numa consulta ao banco de dados dos projetos implantados, constatar se já existe desenho igual ou semelhante. Evita-se assim a duplicidade de desenhos, racionalizando-se os projetos, e poupando-se em custos consideráveis para sua manutenção. Além disso, muitas vezes com poucas alterações, aproveita-se a semelhança dos desenhos para adaptações, aproveitando parte de seus planos de processos.

Na maioria das indústrias que tem um sistema de codificação e o utiliza para recorrência de desenhos, sensíveis economias podem ser alcançadas. Estudos tem demonstrado que para o total de novos projetos, apenas uma parcela de 20% efetivamente constituem-se em projetos novos. Dos restantes, 40% poderiam ser feitos com desenhos existentes, e os outros 40% serem criados com algumas modificações sobre outros existentes [66].

Um sistema de codificação é portanto, elemento muito importante como primeira etapa para introdução de um sistema CAD, (Projeto Auxiliado por Computador), pois ele provê o meio necessário para que qualquer peça possa ser armazenada e posteriormente recuperada e pesquisada[9,13].

FINALIDADES NUM AMBIENTE PARA PLANEJAMENTO DE PROCESSO

Para o planejamento do processo também são evidentes os benefícios que podem ser obtidos com um bem implantado sistema de codificação e classificação. É uma importante ferramenta para organizar as peças em famílias e as máquinas em grupos, para um sistema celular de manufatura, com todas as vantagens para a fabricação em lotes. Vantagens estas obtidas na redução da programação das máquinas NC e de melhor se conseguir agrupar as ferramentas para se obter redução nos tempos de preparação das máquinas, bem como da sua melhor padronização.

Torna-se possível operar com um planejamento automático de processo, ou seja, os sistemas de Planejamento de Processo Auxiliados por Computador (CAPP's), significativamente mais eficientes que aqueles determinados de maneira tradicional.

Quando os planos são gerados manualmente, eles tendem a ser um tanto personalizados, isto é, neles ser colocado muito do ponto de vista e da experiência de quem os define, nem sempre resultando nos planos mais adequados. Além de não se atender a nenhuma padronização, isto pode gerar grandes distorções, como peças com evidentes características semelhantes na forma, tolerâncias ou de materiais, terem diferentes planos de processo, unicamente por terem sido definidos por diferentes pontos de vista pessoais.

O elemento chave de um sistema CAPP é exatamente uma base de dados para o processo que deve ser estabelecida pelo usuário e devidamente codificada em sistemas que permitam uma fácil recuperação [11,13,66].

As características de uma peça a ser fabricada estando devidamente codificadas, podem-se estabelecer pesquisas sobre a base de dados de códigos através de um sistema computacional específico. O usuário pode então fazer alterações e adaptações, para que estes dados sejam adequadas a um processo específico, ou mesmo criar novos planos de processo.

A geração de um novo plano de processo, pode seguir duas metodologias bastante distintas: um método generativo e outro variante, conforme seja definida a formação do novo plano de processo, independente ou não de outros existentes [13,66].

Um método generativo cria um novo plano de processo para cada peça, na medida em que as informações relativas a mesma sejam disponíveis, através do código ou outros meios.

No sistema variante, a filosofia é de recuperar um plano padrão, e a partir dele, serem feitas as modificações necessárias para adequá-lo àquela peça em estudo.

Sob este enfoque é imprescindível que o código de uma peça identifique tanto as características relativas ao projeto da mesma, quanto aquelas referentes à manufatura, para se determinar o planejamento de processo mais adequado.

Para possibilitar identificação de famílias de peças, a serem processadas nas mesmas máquinas ferramentas de uma célula, o sistema deve conter não somente características de forma e dimensões, mas também as pertinentes a sua fabricação, como tolerâncias, taxas de usinabilidade, tamanho de lotes, operações mais e menos significativas, etc..

Em se buscando o melhor plano de processo tende-se a definir um plano particular a cada peça, o que gera um grande número de planos, e que pode se tornar bastante oneroso e de difícil implementação em muitos casos.

Na medida, no entanto, em que se formem famílias de peças, é possível estabelecer planos padrões, definidos para cada família do grupo de peças similares. Neste estágio os planos criados são armazenados em arquivo e indexados por uma matriz representativa da família. Num estágio posterior, em que uma peça deve ser produzida, procede-se uma pesquisa para enquadrá-la naquela família em que seu código esteja inserido e recupera-se consequentemente um plano de processo padrão. Obtem-se assim as vantagens da racionalização, permitidas pela tecnologia de grupo.

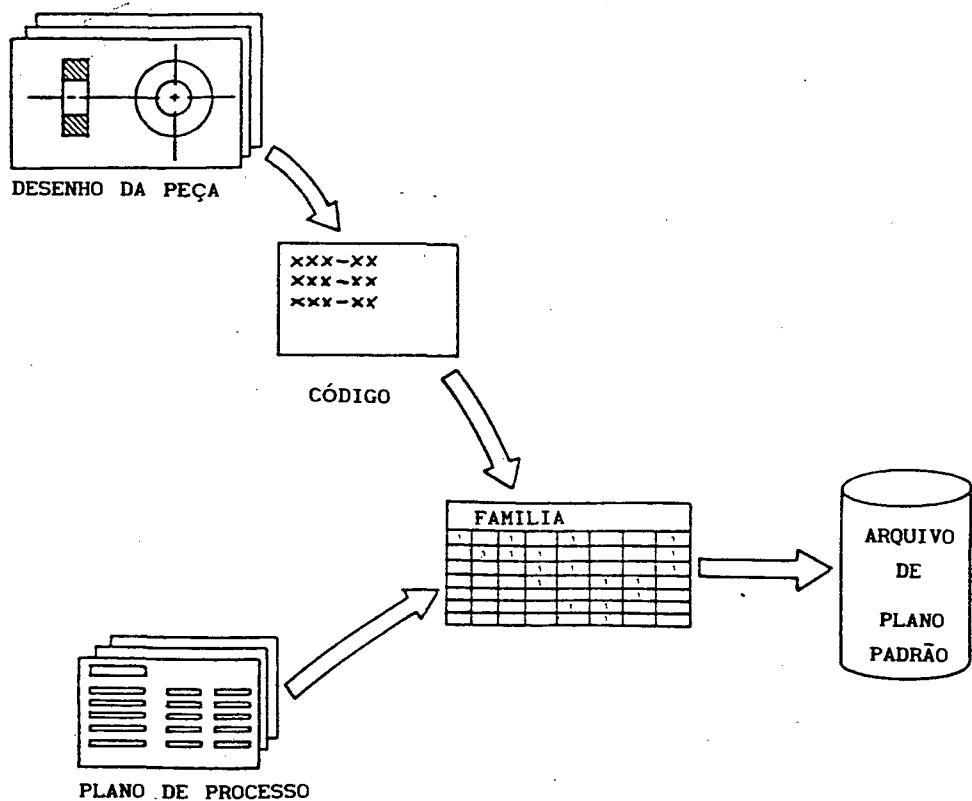


Figura 2.7 - Estágio de preparação dos planos

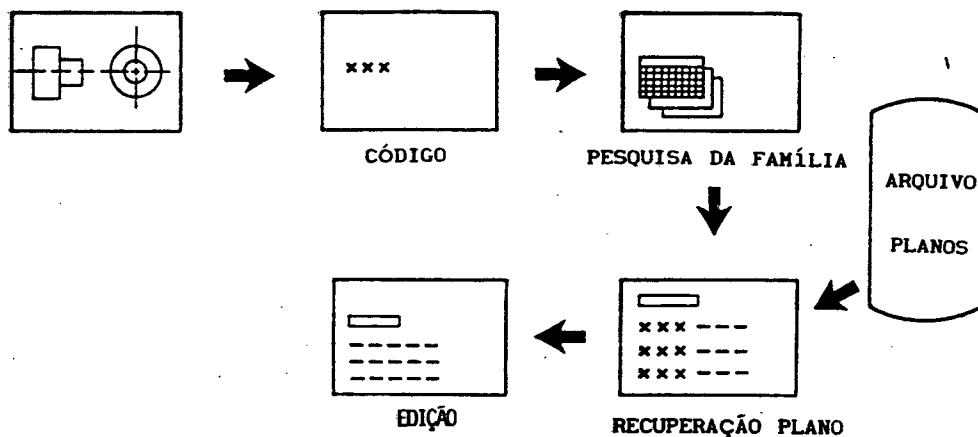


FIGURA 2.8 - Estágio de recuperação de um plano

Pelo simples fato de que, para se implementar um sistema de codificação, se faz necessária toda uma análise de informações relevantes, isto permite eliminar uma série de rotinas incorretas ou desnecessárias, proporcionando um melhor desempenho da manufatura, com melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

A codificação permite, em se utilizando planejamento automático do processo e tratamento de Tecnologia de Grupo, se estabelecer uma efetiva linha de comunicação entre o projeto e a manufatura, [11]. Em se tratando de sistemas auxiliados por computador, a Tecnologia de Grupo, possibilita um importante elo de ligação entre aqueles sistemas de projeto (CAD), e os sistemas de manufatura (CAM). Dentre alguns sistemas de planejamento de processo auxiliados por computador (CAPP's), implementados a partir de sistemas de codificação específicos, podem ser citados o MIPLAN, o MULTICAPP, e o APPAS [13].

2.3.2-TIPOS DE ATRIBUTOS DE UM SISTEMA DE CODIFICAÇÃO

Embora todos os departamentos de uma organização possam se utilizar de um sistema de codificação, ele é de modo geral, mais voltado ou dedicado ao segmento produtivo, ou seja, pela Engenharia de Produto na manufatura. Torna-se importante portanto que o código, contemple em seus atributos informações bastante características destas áreas.

Basicamente os sistemas podem então serem distinguidos em três categorias, segundo suas principais características dos atributos dirigidos as áreas produtivas:

- sistemas baseados em características de projeto;
- sistemas baseados em características de manufatura;
- sistemas voltados tanto ao projeto como a manufatura.

Alguns dos atributos característicos relativos ao projeto e a manufatura são apresentados na tabela abaixo:

RELATIVOS AO PROJETO	RELATIVOS A MANUFATURA
forma básica externa	maior processo
forma básica interna	menor operação
função da peça	acabamento superficial
tipo do material	relação comprimento/diâmetro
tolerâncias	sequência de operações
forma e tamanho original	ferramentas de corte
maior dimensão	máquina ferramenta
menor dimensão	tamanho do lote
funções	precisão

2.3.3-TIPOS DE ESTRUTURA DE UM CÓDIGO

Os códigos para aplicação na Tecnologia de Grupo, criados para identificar características de projeto ou de manufatura, podem ser estruturados em três formas básicas, quais sejam:

- estrutura Hierárquica ou Monocódigo;
- estrutura tipo Cadeia ou Policódigo;
- estrutura Combinada ou Híbrida.

I-ESTRUTURA HIERÁRQUICA OU MONOCÓDIGO

Um código hierárquico, também chamado de monocódigo, pode ser entendido como uma estrutura tipo árvore, onde cada dígito ou caracter amplia as informações do seu anterior, ou seja, o valor do dígito no código tem seu significado atrelado ao seu antecessor e não pode ser interpretado ou atribuído isoladamente. Esta hierarquia proporciona uma análise muito ampla dos itens codificados, torna a estrutura extremamente compacta, podendo assim em um número relativamente pequeno de dígitos representar grande quantidade de informações.

Um inconveniente é que vários dígitos, muitas vezes tenham que ser interpretados em conjunto, tornando-se mais difícil de serem entendidos e processados em computador.

É um sistema particularmente adequado a utilização em ambientes de projeto, onde devido a sua estruturação, facilita a recuperação de informações, tais como, de formato geométrico, de dimensões, e classes de materiais.

Na figura 2.12 é ilustrado um exemplo de estrutura de um monocódigo para codificação de material [9].

II-ESTRUTURA TIPO CADEIA OU POLICÓDIGO

Neste tipo de código , cada símbolo é independente dos anteriores, isto é, cada símbolo identifica isoladamente um parâmetro. Não existe nenhum atrelamento nas especificações que o traduzem, denotando um significado próprio.

O código de estrutura em cadeia é também tratado na literatura como um policódigo, em virtude da característica de independência dos símbolos, transparecer como um encadeamento de códigos isoladamente significativos [9,10]. Não existe nenhuma hierarquia para a construção do código. Uma determinada coluna sempre conterà a mesma informação naquela posição, independente do valor do código que o precede.

É um tipo de estrutura bastante adequada as aplicações voltadas á classificação de peças, máquinas e processos, embora requeira muitas vezes grande número de símbolos.

Para exemplificar o modelo de estrutura do código considerem-se as figuras da página seguinte. Uma matriz que define o fluxo das peças nas máquinas, é mostrada na figura 2.9.

A figura 2.10 mostra a especificação das máquinas da matriz com seus respectivos monocódigos.

Na tabela da figura 2.11 é apresentado um exemplo de policódigo, representativo do processo das peças, retirado da matriz da seqüência de fluxo da figura 2.9. Pode-se determinar assim um código de processo de cada peça, onde os dígitos podem ser interpretados separadamente, pois representam cada um determinada máquina.

		MAQUINAS						
		A-B	C D	E-F	G	H-I	J-K	
P	a				X	X	X	
E	b		X			X	X	
C	c			X		X	X	
A	d		X			X	X	
S	e			X		X	X	
f					X	X	X	
g			X			X	X	
h		X	X					
i		X	X	X				
j			X	X				
k		X	X					
l					X	X	X	
m		X				X	X	
n		X				X	X	
o				X		X	X	

FIGURA 2.9 - Matriz com fluxo peça-máquina

TIPO DE MAQUINA	CODIGO
A-B → FURADEIRA	1
C → TORNO	2
D → PRENSA	3
E-F → FRESADORA	4
G → POLITRIZ	5
H-I → RETIFICA	6
J-K → SERRA	7

FIGURA 2.10 - Código para as máquinas

PECAS	PROCESSO
a, f, l	567
c, e, o	467
b, d, g	367
m, n	167
h, k	12
j	24
i	124

FIGURA 2.11 - Código para o processo

III-ESTRUTURA COMBINADA OU HÍBRIDA

A maioria das estruturas dos sistemas de códigos desenvolvidos é uma estrutura mista, isto é, constitui-se de uma associação de pequenos monocódigos interligados a policódigos.

Considerando-se as ilustrações dos exemplos anteriores, para um policódigo da figura 2.11 e o esquema da figura 2.12 que indica a formação de monocódigo para material, pode-se combinar este com o código que define o respectivo processo, resultando num tipo de código híbrido, como exemplificado.

- peça a : código combinado 132 567

onde : 132 código do material (monocódigo)

567 código de processo (policódigo)

Dentre os sistemas mistos mais difundidos podem ser citados os códigos de OPITZ, CODE, MICLASS e o TEKLA.

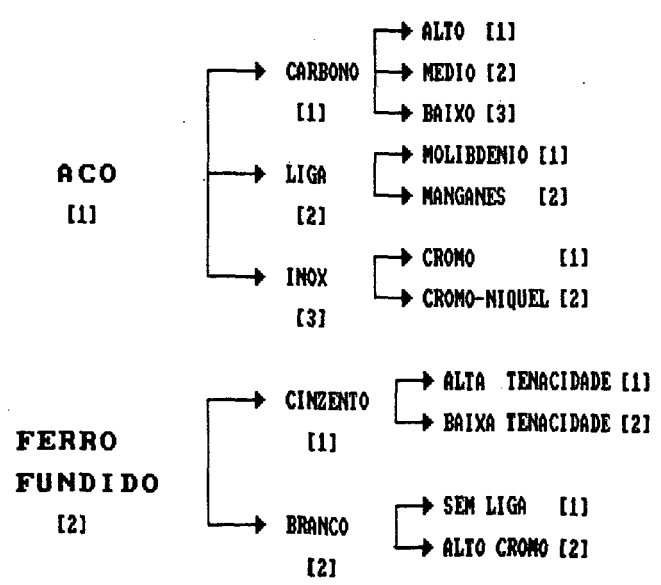


FIGURA 2.12 - Uma estrutura monocódigo

2.3.4-CONSIDERAÇÕES PARA SELEÇÃO DE UM SISTEMA DE CODIFICAÇÃO

Devido as particularidades de cada companhia industrial, não existe um sistema de codificação que se adapte totalmente às necessidades específicas para cada caso.

O projeto de um código por mais generalista que pretenda ser, sempre necessitará de uma série de alterações ou adaptações. Muitas vezes faz-se necessário desenvolver um sistema próprio, embora isto acarrete elevados custos para a concepção e desenvolvimento até a implantação.

Em princípio um sistema deve atender às necessidades de todos os departamentos de uma companhia para permitir uma total integração das atividades produtivas, administrativas e até financeiras. Do ponto de vista estrutural deve-se considerar um tipo que melhor atenda as necessidades da utilização principal, seja para uso nos projetos, manufatura ou outros fins como para aplicações estatísticas ou comerciais.

Uma estrutura de monocódigo por exemplo é mais adequada a conter informações de atributos permanentes de uma peça, uma vez que sua manutenção frente a alterações conjunturais, é mais complexa. Deste modo, o policódigo é mais adequado a atributos que possam se fazer necessários alterar com o tempo, como as informações relativas ao processo.

Há de se ressaltar no entanto que os policódigos tendem a ser mais difíceis de implantar e assimilar que os monocódigos. Assim a escolha está intrinsicamente ligada ao objetivo principal de sua aplicação, e uma combinação das características de ambos, conduz a um código híbrido que concilia a maioria dos interesses.

Uma minuciosa análise, por parte do usuário, sempre antes da escolha, deve ser levada a efeito, para se considerar o pleno atendimento de seus objetivos, das condições de implantação e de manutenção. Pode-se resumir como os aspectos principais a serem considerados pela análise do usuário em:

- a) certificar-se de que o sistema de classificação e codificação possa comportar uma boa base de dados codificada, para conter todos os elementos necessários a servir de ferramenta para organizar o ambiente de manufatura;
- b) considerar que um sistema de codificação, perfeitamente adequado a todas as necessidades, não existe, devendo ser adaptado ou complementado para cada caso;
- c) não fazer restrições a nenhum tipo de estrutura, mas procurar conciliar as potencialidades de cada uma, para cada finalidade.

Mesmo que todas as faces do problema sejam analisadas, na busca de atender plenamente os objetivos, um sistema dificilmente será definitivo, pois, alterações tecnológicas ou administrativas poderão impor modificações ao longo do tempo.

2.3.5-IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CÓDIGO

Um código bem projetado para produto, voltado a área de manufatura, somente será adequadamente implantado e factível de utilização se tiver suporte de um bem elaborado "software", que permita viabilizar todo o espectro de aplicações planejadas.

Neste sentido têm sido desenvolvidos, para alguns códigos comerciais, sistemas computacionais para viabilizar a sua implantação em ambientes industriais, como é o caso do MICLASS [03,101], e mesmo de sistemas especialistas que permitem efetuar codificação via bases de conhecimento como o PACIES [65].

2.3.6- ALGUNS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO

I- SISTEMA OPITZ

Este sistema foi desenvolvido por H. Opitz, da Universidade de Aachen na Alemanha [87], tendo servido de base para inúmeros outros sistemas criados posteriormente. Ele representa um dos esforços pioneiros na área de Tecnologia de Grupo, sendo de fácil compreensão, e adequabilidade a diversas aplicações.

Inicialmente desenvolvido para investigações estatísticas de componentes, evoluiu para outras áreas de aplicação, como de projeto, para racionalização e recuperação de desenhos, e na manufatura com as aplicações específicas de organização do ambiente, como ferramenta de Tecnologia de Grupo.

O sistema foi um dos primeiros métodos de classificação utilizados para peças usinadas, depois estendido para outras aplicações, como para peças fundidas, ferramentas, máquinas e materiais [4,3,67].

A concepção básica do sistema está definida em dois campos de código. Um código de forma, composto de cinco dígitos e uma parte suplementar, com outros quatro dígitos. Pode ainda ser acrescido de um campo de código secundário, conforme for necessário a determinada aplicação. O esquema básico da estrutura do código está representada na figura 2.13, indicando o conteúdo dos campos, na sua forma básica e suplementar. Na figura 2.14 é mostrada a descrição dos dígitos para a definição do código de forma. Um exemplo de codificação da geometria básica é mostrado nas peças da figura 2.15.

SISTEMA OPITZ

CODIGO DE FORMA

CODIGO SUPLEMENTAR

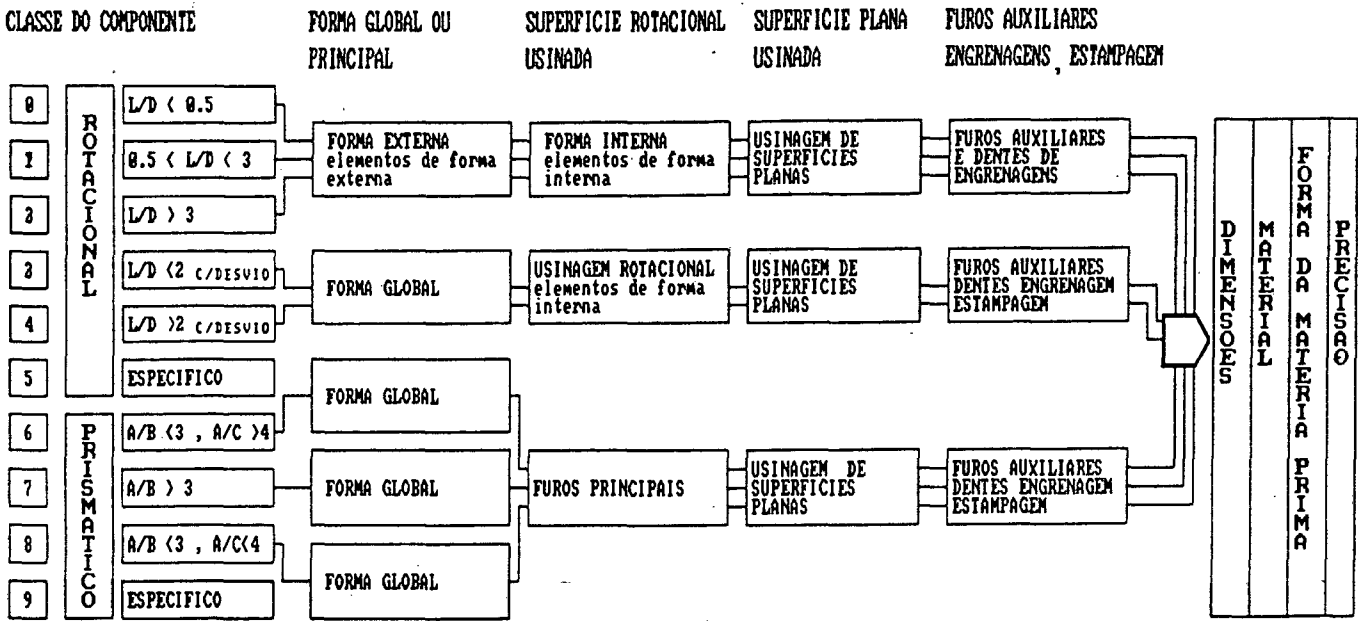


FIGURA 2.13 - Esquema geral do código

DIGITO 1	DIGITO 2	DIGITO 3	DIGITO 4	DIGITO 5
CLASSE DOS COMPONENTES	ELEMENTOS DE FORMA EXTERNA	ELEMENTOS DE FORMA INTERNA	SUPERFICIE PLANA USINADA	FUROS AUXILIARES E DENTES DE ENGENAGENS
0	uniforme, sem elemento de forma	sem furo passante furo cego	sem superficie plana usinada	sem furos auxiliares
1	sem elemento de forma	sem elemento de forma	plana externa ou uma direcao curva	furos axiais sem padrao
2	uniforme com rosca	com rosca	plana externa relacao circulo	furos axiais com padrao
3	uniforme com ranhura funcional	com ranhura funcional	ranhura externa ou rasgo chaveta	furos radiais sem padrao
4	sem elemento de forma	sem elemento de forma	spline externo e ou poligono	axial ou radial qualquer sentido
5	com rosca	com rosca	sup.plana externa e ou rasgo, spline	rd/ax. padrao ou qualquer sentido
6	com ranhura funcional	com ranhura funcional	sup.plana interna e ou ranhura	engrenagem de dentes retos
7	cone funcional	cone funcional	spline interno e ou poligono	engrenagem conica
8	rosca operacional	rosca operacional	spline ext./int.e ou rasgo ranhura	outros tipos de engrenagens
9	outros	outros	outros	outros

FIGURA 2.14 - Definição dos dígitos do código de forma

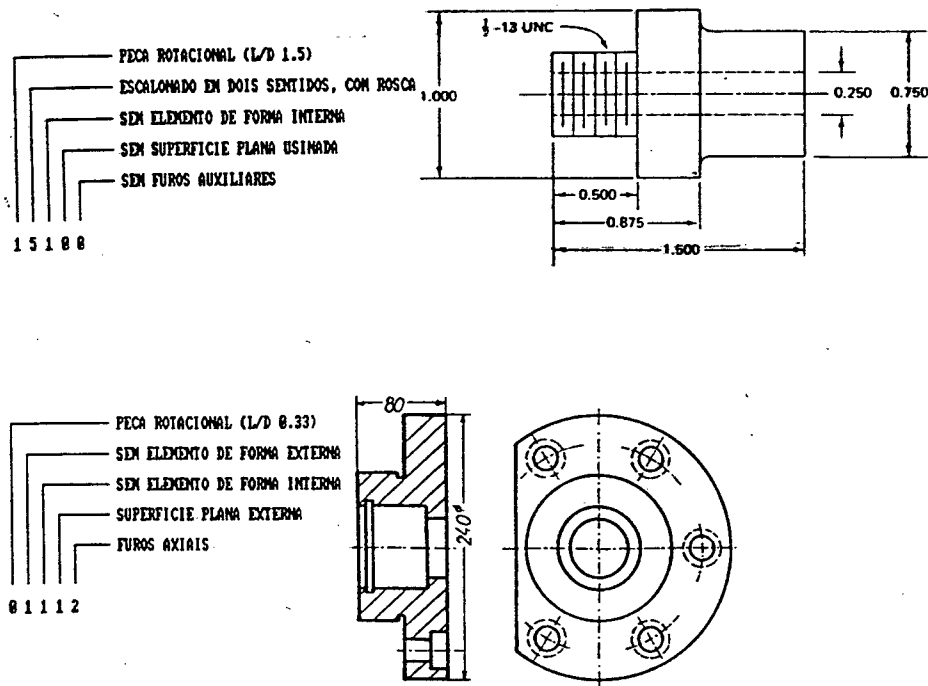


FIGURA 2.15 - Exemplos de codificação da geometria básica

Enquanto a parte suplementar descreve características gerais de interesse da área de manufatura, como tipo de material, sua forma original e precisão, o código secundário é sempre uma extensão criada para aplicação específica, melhor detalhamento, ou para atender particularidades de determinada companhia [4].

			CODIGO SECUNDARIO											
TIPO DA PEÇA	CODIGO DE FORMA	CODIGO SUPLEMENTAR	CORTE	FURACAO	TORNEAMENTO	INSPECAO	FRESA RASGO	TRAT TERMICO	RETI FICA CIL.	FRESA DENTE	PERFIL DENTE	RETI FICA SUP.	REBARBACAO	
			28	41	01	95	54	66	31	25	53	33	73	
ENGRENAGEM	04166	2409	X	X	X		X	X	X		X	X	X	
	01106	2408	X	X		X		X	X	X		X		
	14166	2409	X	X	X		X			X		X	X	
	14166	3409	X	X	X	X	X			X				

FIGURA 2.16 - Código secundário para operação

II- SISTEMA MICLASS

O sistema MICLASS (Metal Institute Classification System) é um sistema desenvolvido na Holanda pela TNO, uma organização de pesquisa científica aplicada [01,03,04,13].

A estrutura do código é em cadeia, ou seja um policódigo de propósito universal, com um tamanho básico de doze dígitos que contém tanto informações para uso no projeto, quanto na manufatura. As informações de seus campos são:

Dígitos -----	Significado -----
1º	forma principal
2º e 3º	elementos de forma
4º	posição dos elementos de forma
5º e 6º	dimensões principais
7º	dimensão de raio
8º	dimensões auxiliares
9º e 10º	códigos de tolerância
11º e 12º	códigos de material

O comprimento total do código pode variar além do tamanho básico, de acordo com a complexidade das características de manufatura que se desejar implantar. Para isso, dezoito dígitos adicionais poderão ser utilizados para contemplar características particulares de cada indústria em que seja implantado. Normalmente estes dígitos são utilizados para representar características relativas a manufatura, como tamanho de lote, tempos e sequências das operações de usinagem, etc..

Para sua implantação existe um sistema computacional interativo que permite a codificação das peças. O usuário deve responder determinado número de questões que podem variar de acordo com a complexidade das peças. Baseando-se nas respostas dadas ao sistema este monta automaticamente o número de código para a peça.

Algumas outras funções específicas, fazem parte dos programas do sistema [101], permitindo tratar informações para:

- área de gerência:

tem capacidade para tratamento de dados e arquivos, permitindo atualização, classificação, e relatórios gerenciais;

- recuperação de desenhos:

identificação e recuperação de desenhos similares, ou duplicados para possibilitar controle pelo usuário;

- análise de produção:

obtenção de diversos tipos de análise, sobre a base de dados codificada, para uso da produção. Vários módulos aplicativos de programas, permitem analisar ocorrências de códigos, tipos de peças e combinações entre os mesmos.

O sistema opera com unidades métricas decimais ou com sistema inglês em polegadas, e ainda é disponível nas linguagens para conversação em inglês, francês ou alemão.

Dentre as principais aplicações deste sistema está a de servir de meio de padronização e integração entre planejamento de processo e a manufatura auxiliados por computador, os sistemas CAPP e CAM. Existem inúmeras aplicações industriais baseadas neste sistema, como os conhecidos por MULTICAPP, e MIPLAN [3].

III- SISTEMA KK-3

O sistema KK-3 é um sistema de propósito geral para classificação de peças usinadas, principalmente processo de corte e retífica [90].

Desenvolvido no Japão pela JSPMI (Sociedade Japonesa para Promoção de Máquinas Industriais). Em sua primeira versão foi apresentado como KK-1, em 1970 baseando-se num código de dez dígitos, mesmo tamanho mantido na segunda versão, KK-2 em 1973. Na versão atual, apresentada em 1976 como KK-3, o código passa a ter um tamanho de 21 dígitos decimais, um código bem mais completo que mantém a compatibilidade com as antigas versões apenas nos oito primeiros dígitos.

O primeiro dígito faz uma distinção geral relativa a função principal das peças, como eixos, engrenagens, etc... No segundo dígito são descritos maiores detalhes funcionais, como o tipo da engrenagem e do eixo. Com apenas dois dígitos o sistema possibilita a classificação de mais de cem especificações funcionais para peças rotacionais e não-rotacionais. Nos demais dígitos obtém-se uma completa descrição das peças.

DESCRIÇÃO DOS DÍGITOS DO CÓDIGO (PEÇAS ROTACIONAIS)

1) Colunas 1 e 2 - Classificação em função do nome da peça

Os dígitos destas duas colunas, definem a classificação da denominação da peça, distinguindo também entre classes rotacionais e não-rotacionais.

2) Colunas 3 e 4 - Classificação de Materiais

Detalhamento não somente do tipo de material, mas também da forma e processo de tratamento.

3) Colunas 5 e 6 - Classificação das dimensões principais

Para peças rotacionais, é considerado o comprimento e diâmetro, para não-rotacionais, o comprimento e a maior largura.

4) Coluna 7 - Formas primárias e relação das dimensões principais

Descreve relação entre as principais dimensões como diâmetro comprimento, largura comprimento, etc..

5) Colunas 8 a 20 - Detalhes de forma e tipo processo de usinagem

Coluna 8 - Superfície externa e forma primária

Definição de superfície externa, superfície plana interna, superfície angular, cônica, ou esférica.

Coluna 9 - Rosca concêntrica

Classificação para peças com roscas concêntricas usinadas utilizando fuso principal do torno, de acordo com uma das classes; passo de rosca cilíndrica uniforme, passo desigual, rosca cônica.

Coluna 10 - Cortes funcionais das peças

Define existência de rasgos funcionais diversos, como corte em forma retangular, com conformação plástica, recartilhamento, etc..

Coluna 11 - Formas especiais

Define peças excêntricas, peças divididas, peças não-rotacionais especiais.

Coluna 12 - Detalhes de forma

Especifica detalhes de forma realizados por processos de fresamento e corte, como corte de dentes, sulcos e ranhuras.

Coluna 13 - Superfícies cilíndricas

Especifica detalhes de superfície cilíndricas, tais como, superfície multifacetadas, com diversos tipos de engrenagens, etc..

Coluna 14 - Forma interna primária

Classifica detalhes de furos internos, variações de diâmetro, etc..

Coluna 15 - Superfície curva interna

Admite classificação das superfícies internas como cônicas funcionais, cilíndricas excêntricas, presença de filetes de roscas, etc..

Coluna 16 - Superfície interna plana e cilíndrica

Classificam-se detalhes como entalhes, superfícies dentadas, etc..

Coluna 17 - Acabamento Superficial**Coluna 18 - Localização de furos regulares**

Definição de furos utilizados para fixação de acessórios e programação NC.

Coluna 19 - Furos especiais

Define furos especiais concêntricos com eixo central, furos passantes, profundidade de furos, furos cônicos, etc..

Coluna 20 - Outros processos

Classifica outros processos que não sejam de usinagem, como dobramento, estampagem, e soldagem.

Coluna 21 - Definição da precisão

SISTEMA KK-3

ESQUEMA GERAL DO CÓDIGO

	ITENS (COMPONENTES ROTACIONAIS)		
1	NOME DA	CLASSIFICACAO GERAL	
2	PECA	DETALHE DE CLASSIFICACAO	
3	MATERIAIS	CLASSIFICACAO GERAL	
4		DETALHE DE CLASSIFICACAO	
5	DIMENSOES	COMPRIMENTO	
6	PRINCIPAIS	DIAMETRO	
7	FORMAS PRIMARIAS E RELACAO DAS DIMENSOES PRINCIPAIS		
8	DETALHES DE FORMA E TIPOS DE PROCESSO DE USINAGEM	SUPERFICIE EXTERNA	SUPERFICIE EXTERNA E FORMA PRIMARIA
9			PECAS COM ROSCA CONCENTRICA
10			PECAS COM RASGOS FUNCIONAIS
11			PECAS COM FORMAS ESPECIAIS
12			COMFORMACAO
13			SUPERFICIES CILINDRICAS
14		SUPERFICIE INTERNA	FORMA INTERNA PRIMARIA
15			SUPERFICIE CURVA INTERNA
16			SUPERFICIE INTER.PLANA E CILINDRICA
17		SUPERFICIE FINAL	
18		FUROS NAO CONCENTRICOS	LOCACAO REGULAR DE FUROS
19			FUROS ESPECIAIS
20		PROCESSO DE NAO-USINAGEM	
21	PRECISAO		

FIGURA 2.17 - Esquema geral do código KK-3

IV- O SISTEMA GRUCON/UFSC

Este sistema foi projetado inicialmente para atender particularidades de uma indústria do ramo metal-mecânico, interessada em um sistema para aplicação de Tecnologia de Grupo, tendo posteriormente o desenvolvimento tomado características mais genéricas, para um campo mais amplo de aplicação[86].

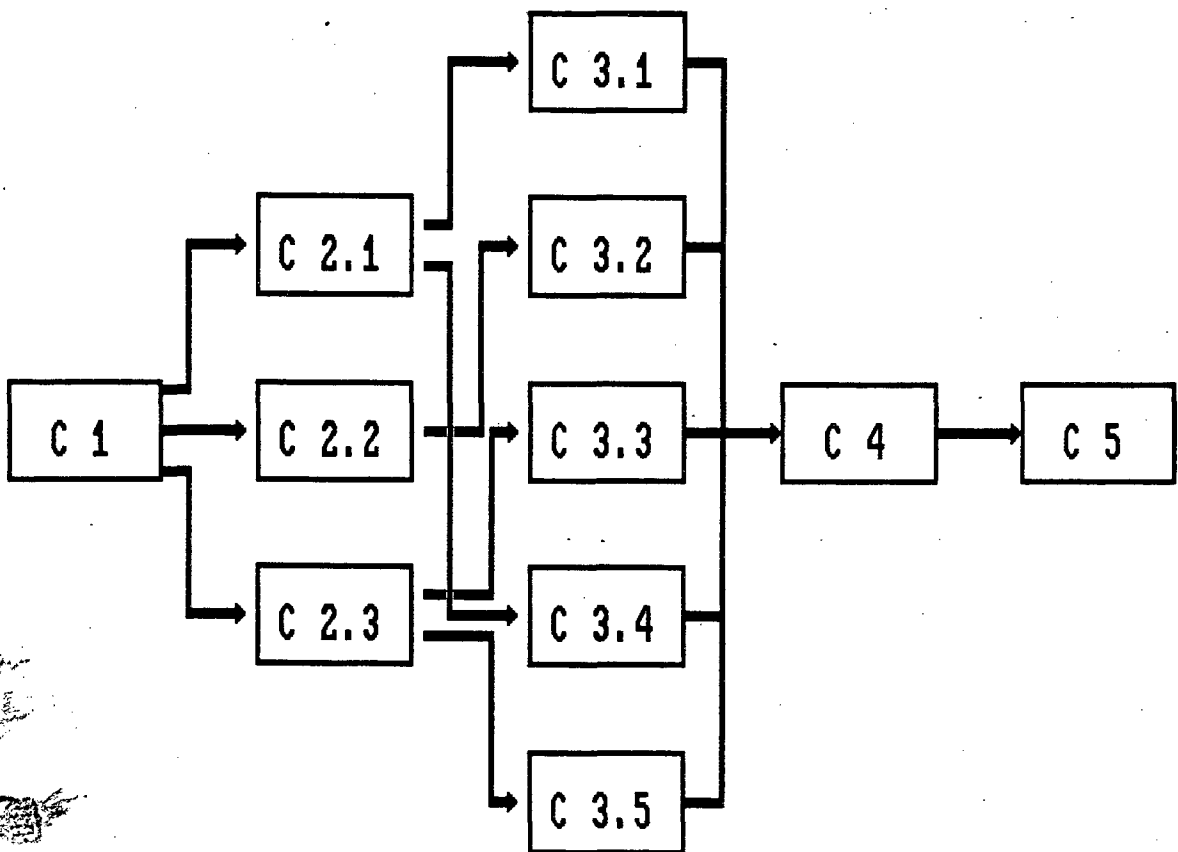
A concepção do sistema resulta de um extenso levantamento e estudo dos sistemas de códigos para peças existentes, procurando-se aproveitar aquelas características de cada um que melhor traduzissem os atributos colocados como de necessária representação no código. Estes atributos, descritivos da geometria ou de processo das peças, refletem resultados de detalhado levantamento e acompanhamento de atividades de manufatura na empresa pesquisada, ouvidos todos os setores potencialmente usuários nas áreas de projeto e processo.

Desenvolvido pelo GRUCON/UFSC (Grupo de Pesquisas e Treinamento em Comando Numérico e Automatização Industrial) na Universidade Federal de Santa Catarina, o sistema é constituído de dezessete dígitos, organizados em cinco campos significativos, expressando as mais importantes características das peças, especialmente sob aspectos de processo, com fins de aplicabilidade aos princípios de Tecnologia de Grupo.

Tem uma estrutura híbrida, isto é, uma parte hierárquica ou monocódigo a nível de campo, e outra com definição em cadeia ou policódigo, como pode ser visualizado pelo esquema genérico do sistema, apresentado na figura 2.18.

SISTEMA SCC/GRUCON**ESTRUTURA DO CÓDIGO**

TIPO DE PROCESSO	DIMENSÕES	FORMA GEOMÉTRICA	TOLERÂNCIA RUGOSIDADE	TIPO MATERIAL
FORMA BÁSICA				

**FIGURA 2.18 - Estrutura geral do SCC/GRUCON**

DEFINIÇÃO DOS CAMPOS DO CÓDIGO SCC/GRUCON

A definição dos campos deste código é apresentada a seguir com os respectivos tamanhos.

Campo 1 : TIPO DE PROCESSO E FORMA BÁSICA DA PEÇA

Este campo é composto de apenas um dígito e caracteriza por qual tipo de processo a peça é obtida (mecânico ou metálico) e qual a forma básica (rotacional, rotacional com desvio ou não-rotacional). São considerados como processo metálico, aqueles em que ocorre apenas deformação da matéria prima, enquanto mecânicos aqueles em que há remoção, e ou transformação do material como nos processos de usinagem.

Campo 2 : DIMENSÕES

Campo que caracteriza as dimensões das peças, conforme seu tipo básico e processo. Tem tamanho de três dígitos, e cujos valores são atribuídos de acordo com a definição do dígito 1. Para os diferentes valores do campo 1 podem-se ter as situações:

a) peças mecânicas e metálicas rotacionais

dígito 1 : maior comprimento

dígito 2 : maior diâmetro

dígito 3 : relação L/D ou espessura

b) peças mecânicas rotacionais com desvio

dígito 1 : maior comprimento

dígito 2 : maior diâmetro usinado

dígito 3 : maior diâmetro de giro

c) peças mecânicas ou metálicas não-rotacionais

dígito 1 : maior comprimento

dígito 2 : maior largura

dígito 3 : maior espessura

Campo 3 :FORMA GEOMÉTRICA

Este campo tem as mais importantes características de descrição geométrica das peças. É composto de nove dígitos com definições distintas, em função das características de forma básica e de processo. São cinco sub-divisões com as respectivas características:

a) peças mecânicas rotacionais e rotacionais com desvio

- dígito 1 : forma externa
- dígito 2 : elementos de forma externa
- dígito 3 : características dos elementos de forma
- dígito 4 : superfícies especiais
- dígito 5 : furos auxiliares
- dígito 6 : detalhes dos furos auxiliares
- dígito 7 : engrenagens
- dígito 8 : forma interna
- dígito 9 : elementos de forma interna

b) peças mecânicas não-rotacionais

- dígito 1 : forma externa
- dígito 2 : forma de obtenção da superfície
- dígito 3 : elementos de forma externa
- dígito 4 : elementos de forma externa, especificações
- dígito 5 : furos auxiliares
- dígito 6 : forma interna dos furos auxiliares
- dígito 7 : engrenagens, roscas
- dígito 8 : forma interna
- dígito 9 : elementos de forma interna

c) peças metálicas: não-rotacionais, rotacionais e com desvio

dígito 1 : forma externa

dígito 2 : recortes

dígito 3 : rasgos

dígito 4 : chanfros

dígito 5 : furos com broca

dígito 6 : conformação e costuras

dígito 7 : operações mecânicas de superfície

dígito 8 : furos de processo mecânico

dígito 9 : elementos de processo mecânico

Campo 4 : TOLERÂNCIA E RUGOSIDADE

Campo composto de dois dígitos, sendo que o segundo é hierarquizado pelo primeiro, caracterizando o grau de complexidade para obtenção da peça, especificando a faixa e local onde se encontra a tolerância ou a rugosidade mais apertada.

dígito 1 : distingue tipo e localização de tolerância

dígito 2 : indica as faixas de tolerância

dígito 3 : tipo e faixa de rugosidade

Campo 5 : TIPO DE MATERIAL

Este campo tem tamanho de dois dígitos, com o segundo também hierarquizado ao primeiro, definindo o material da peça. O primeiro dígito dá a classe ou tipo genérico, enquanto o segundo fornece a caracterização mais específica.

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A implementação do código é realizada por um "software" especialmente desenvolvido, que interage com o usuário para montagem do código de modo rápido e eficiente, ao mesmo tempo que verifica possíveis inconsistências.

O cadastramento de uma peça pode ser feito de modo seqüencial, ou seja, fornecendo-se as características possíveis de todos os dígitos, ou também de modo orientado, entrando-se com as informações dos campos de maneira aleatória.

A classificação ou recuperação de uma peça pode ser estabelecida através do seu número de identificação, da sua denominação, ou pelo seu código que é o meio mais importante para aplicações de Tecnologia de Grupo.

O sistema SCC/GRUCON, representa um dos esforços pioneiros no Brasil em desenvolvimento de sistemas de classificação e codificação, ao lado de sistema similar em desenvolvimento no Centro Tecnológico de Informática (CTI) [69].

O sistema SCC/GRUCON no entanto, está inserido num projeto mais abrangente, que visa o desenvolvimento de aplicações de ferramentas de Tecnologia de Grupo, para implementações na automatização de sistemas de manufatura. Faz parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias aplicáveis a integração da manufatura, via utilização de computadores, que é um projeto de CIM (Computer Integrated Manufacturing).

2.4 -SISTEMAS CELULARES DE MANUFATURA

Os sistema celulares de manufatura (FMC), bem como os Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS), se constituem na mais moderna concepção para sistemas de produção integrados por computador, com capacidade de gerar produtos com elevada qualidade e baixos custos [15].

O elemento fundamental é a flexibilidade operacional, cujo compromisso com a capacidade de produção pode definir diferentes tipos de sistemas celulares conforme mostrado na figura 2.19[3].

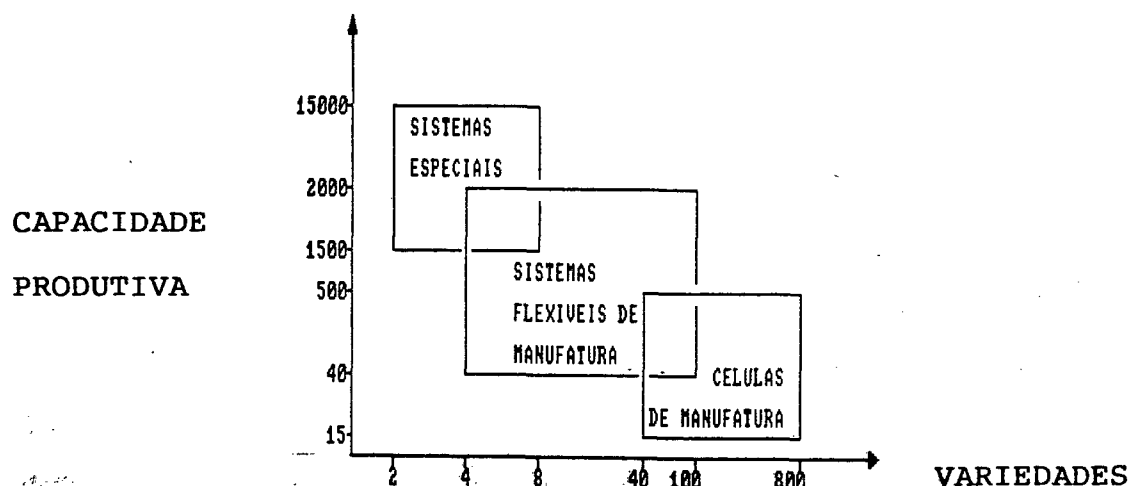


FIGURA 2.19 - Tipos de sistemas de manufatura celular

A Tecnologia de Grupo (GT), por sua vez é a base racional para fornecer os meios de organização da manufatura celular, e através das aplicações da filosofia, se obterem uma série de vantagens operacionais e econômicas.

Um aspecto fundamental é trabalhar com famílias de peças que possibilitam a fabricação em sistemas celulares flexíveis, sistemas estes que facilmente podem ser reconfigurados de um tipo de peça para outro com mínimo tempo de "set-up" de máquinas.

Em razão de se reduzirem consideravelmente os tempos de preparação e ajustes das máquinas, que se traduzem nos custos fixos de produção, possibilita-se operar economicamente com menores tamanhos de lotes de produção, conforme figura 2.20 [15].

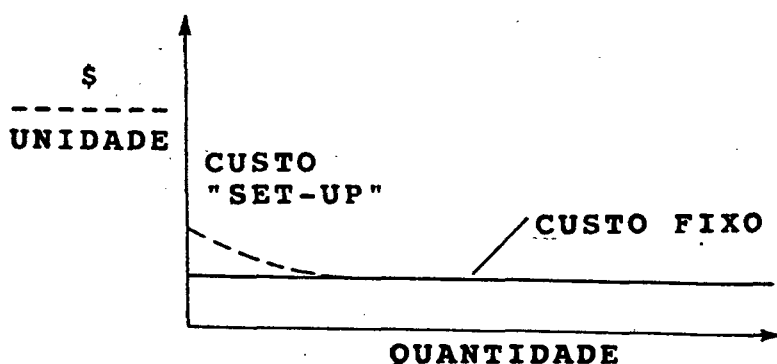


FIGURA 2.20 - Efeitos do custo unitário com o "set-up"

A organização celular permite processar a matéria prima de seu estado inicial até atingir o produto acabado, com as tarefas conduzidas por pequeno número de trabalhadores, o que lhes permite acompanhar todas as fases e ver o resultado de seu empenho até o estágio final. Isto proporciona ao elemento humano um maior nível de satisfação pessoal; o de sentir os resultados de seu trabalho para as atividades da companhia [3].

Pelo fato também de manter-se mais próximo da atividade, integrado no ambiente, o elemento humano sente-se mais responsável e detecta erros em condições de corrigi-los em tempo de processo, contribuindo para melhoria da qualidade. São evidentes, portanto ganhos em produtividade e qualidade, em confronto com os sistemas convencionais.

2.4.1- CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMC)

A definição de uma FMC, pode ser considerada sob dois aspectos conceituais, uma abordagem física ou virtual. Uma célula de manufatura pode ser fisicamente definida, como um conjunto de máquinas selecionadas e reunidas, em determinado local e disposição, para conter todas as facilidades necessárias a processar de forma econômica e racional uma família de peças [2,3,10,15,67]. Quando se considerar apenas o seqüenciamento lógico de processo, independente do agrupamento das facilidades, tem-se uma concepção apenas virtual de célula. O conjunto de máquinas se justifica em funcionalidade e tamanho, pelas características e complexidade das peças da família, para a qual a célula é projetada.

Poucas regras existem para se projetar fisicamente uma célula, o que é básico e fundamental, é que os trabalhos sejam completados dentro do ambiente da célula, e que se busque sempre obter o maior grau de automatização e flexibilidade possível. Flexibilidade esta, que permita facilmente expandir-se na medida das necessidades, efetuar a inclusão de novos componentes, ou alterar o estado corrente para adaptações com economia, qualidade e rapidez. A organização e integração dos equipamentos nas células podem seguir uma das seguintes orientações básicas [1]:

- a) serem totalmente integrados, através de sistemas de transporte e de controles de fluxo do trabalho;
- b) uma célula semi-integrada, projetada com transportadores usados para armazenagem e transporte de peças;
- c) células simples, sem nenhum sistema automático de manuseio ou controle;
- d) trabalho agrupado para execução em máquinas simples.

Quanto ao porte de uma célula, ou seja, o número adequado de máquinas, isto deve, em uma primeira análise, ser definido em função de um balanceamento de carga que considere as características das famílias, o tamanho dos lotes, a diversidade de processos necessários, e as limitações no aspecto físico.

Outros fatores, no entanto, devem ser considerados, sob os aspectos operacionais e econômicos, por serem limitantes. Do ponto de vista operacional, quanto maior for o tamanho da célula, maior a quantidade de máquinas, resultando em maior número de etapas no fluxos de processo, além de aumentarem os tempos de manuseio e, de modo geral, o número necessário de operadores. Assim, além de tornar-se mais complexa a automação, reduzem-se os ganhos de produtividade do sistema.

Uma tendência de se trabalhar com células muito pequenas e, por isso mesmo, se limitar o tamanho das famílias de peças, muitas vezes também pode se tornar economicamente inviável. A razão é que, na medida em que o tamanho das células fica muito reduzido, o número de células aumenta e com isso máquinas idênticas passam a ser necessárias em diversas células, com conseqüente aumento nos investimentos com equipamentos.

Evidentemente que a definição primeira em relação ao problema será sempre uma conseqüência da metodologia utilizada no agrupamento das famílias, em cuja definição as necessidades de máquinas estarão implícitas, mas o ponto de equilíbrio adequado deverá ser encontrado por uma análise entre as condições operacionais desejadas, aliadas a capacidade de investimento possível em cada caso.

A passagem de um sistema convencional de manufatura para implantação de um sistema celular, normalmente não requer grandes investimentos numa primeira fase, porque pode ser realizado com as máquinas existentes. A principal meta que deve orientar esta reordenação, deve ser a identificação destas máquinas com as famílias de peças estabelecidas.

As famílias de peças e suas máquinas necessárias juntamente com os sistemas de manuseio e operadores passam a constituir uma unidade celular. A fabricação em "lay-out" celular tem reflexos positivos em vários aspectos operacionais, dentre os principais está o referente a atuação no fator tempo, com consequência na melhoria da produtividade e redução nos custos.

O arranjo das máquinas em grupos, aliado a concepção das famílias de peças, traz reduções em todos os tempos improdutivos envolvidos na fabricação, tempos estes que chegam a representar 95% do tempo total necessário à produção num sistema tradicional de fabricação [5,101]; ver figura 2.21.

A redução mais significativa está no tempo de "set-up" de máquina, consequência direta da similaridade das peças nas famílias, além dos tempos de espera e de movimentações entre operações, favorecidos pela proximidade física e por uma adequada disposição das máquinas.

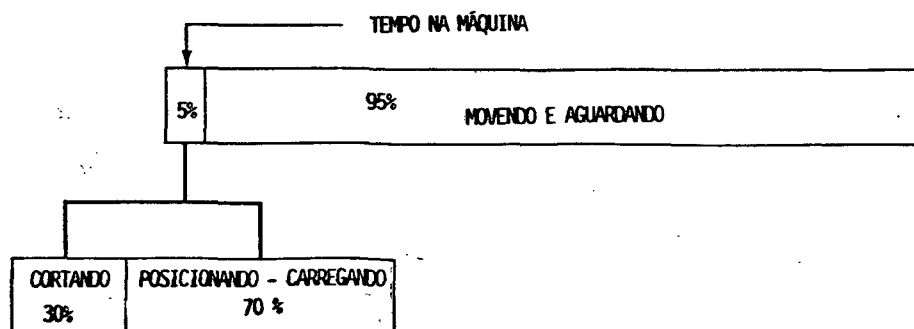


FIGURA 2.21 - Distribuição do tempo em processo [101]

Numa concepção de fabricação assistida por computador, torna-se possível uma FMC ser perfeitamente integrada as demais áreas e tecnologias envolvidas com a manufatura. A atividade em uma FMC, que é a fabricação de um produto, representa o objetivo final de todas as demais etapas da manufatura. Nos sistemas CAE (Engenharia) e CAD(Projeto) inicia-se com a concepção e definição do produto. Nos sistemas CAPP(Planejamento) e CAP(Produção) são definidos a seqüência e os meios de produção, que devem ser executados de acordo com sistemas CAQ(Qualidade). A GT (Tecnologia de Grupo) por sua vez, é o elemento que permite um meio de organização e comunicação interdisciplinar, fornecendo os as ferramentas para o próprio projeto da FMC.

Esta integração, mostrada na figura 2.22, facilita a automatização, permite um melhor desempenho operacional, e principalmente obtenção de ganhos com redução de custos, e melhoria da qualidade.

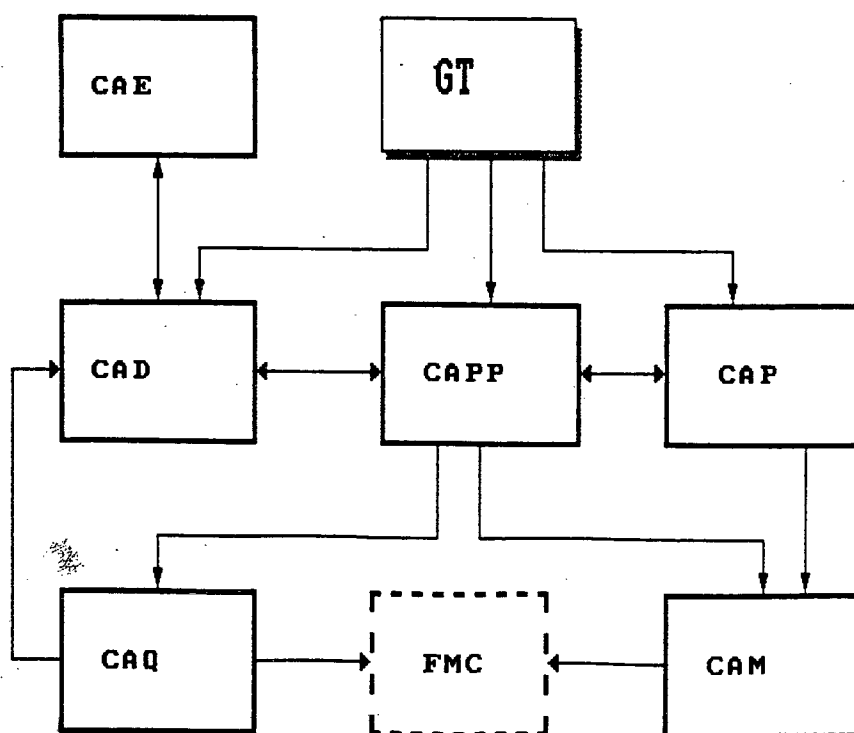


FIGURA 2.22 - Integração de uma FMC na manufatura

Em função, do grau de automação e de integração num sistema de manufatura, as células podem ser classificadas em duas categorias, que são as células comandadas e não-comandadas [15].

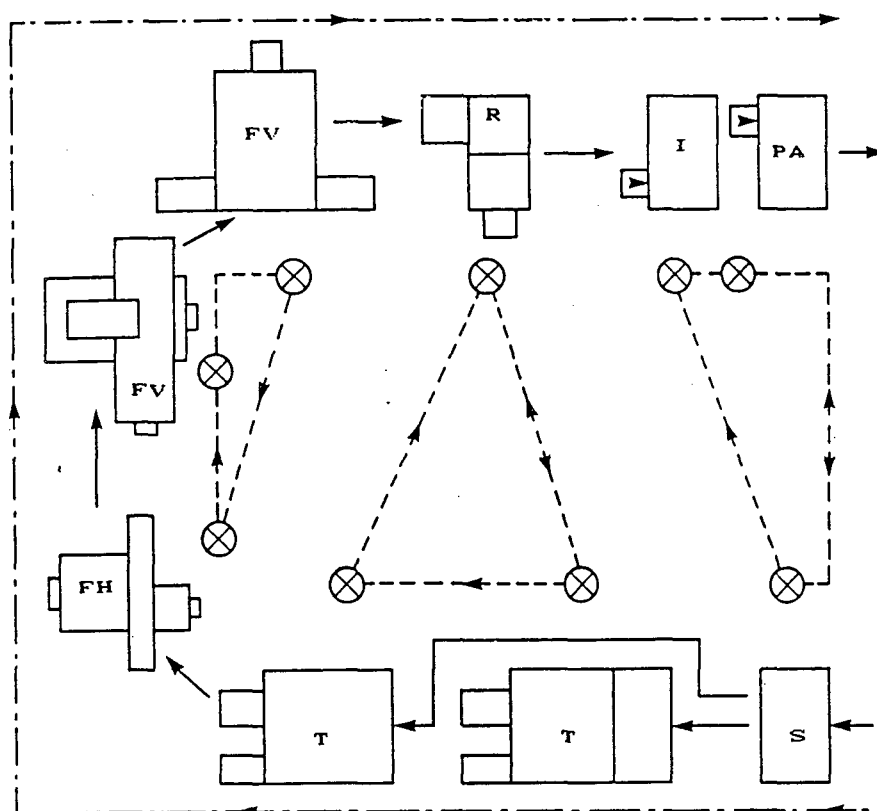
I- CÉLULAS COMANDADAS (PILOTADAS)

Células em que as máquinas ferramentas, podem ser do tipo convencional ou programável, mas que tem no seu comando e controle geral dos equipamentos, operadores especializados. Estes trabalhadores necessitam ter uma especialização bastante diversificada. Devem ter capacitação para operar as diversas máquinas, para diversos tipos de produtos dentro de cada célula específica. Devem ter habilidades multifuncionais, ao contrário daqueles de um sistema convencional, que tem normalmente especialização em apenas um tipo de máquina, ou seja, uma especialização por processo.

Sob o aspecto do desempenho humano, no ambiente de células, modificam-se bastante as relações de comportamento. O número de operadores embora reduzidos, passa a ter um maior grau de responsabilidade operacional, por terem que operar com diferentes máquinas, serem responsáveis pela sua preparação, e acompanharem todas as fases da fabricação do produto. A medida no entanto, em que forem se utilizando máquinas mais sofisticadas, sistemas mais automatizados, a responsabilidade do elemento humano diretamente no ambiente passa a ser mais restrita, e substancialmente reduzida.

Neste tipo de concepção de célula, deve-se considerar o tipo de "lay-out" que facilite a atuação do operador, em termos de visibilidade, comandos e circulação entre as máquinas. Para células pequenas, a disposição mais eficiente, normalmente vem a ser um arranjo em formato de "U", (ver figura 2.23).

CÉLULA COMANDADA (PILOTADA)



----- CAMINHO DE ATUAÇÃO DOS OPERADORES

_____ ROTAS DAS PEÇAS NA CÉLULA

R = RETÍFICA

I = INSPEÇÃO

S = SERRA

FH = FRESADORA HORIZONTAL

T = TORNO

FV = FRESADORA VERTICAL

PA = PEÇA ACABADA

FIGURA 2,23 - Esquema de uma célula pilotada

II- CÉLULAS NÃO-COMANDADAS (NÃO-PILOTADAS)

Concepção de célula formada apenas por máquinas programáveis, bem como por demais equipamentos automáticos que permitem ao ambiente um alto grau de automatização.

O aspecto de não ser pilotada, ou comandada refere-se a não necessidade de atuação direta do elemento humano na sua operação e controle, porque as operações estão automatizadas.

A automação, no entanto pode se dar em dois níveis distintos, automação rígida ou flexível, definidos no projeto da célula, que determinarão o grau de flexibilidade operacional para a instalação.

- AUTOMAÇÃO RÍGIDA

A automação na célula é definida como rígida, quando pouca ou nenhuma flexibilidade operacional é permitida no meio. A seqüência das operações para execução dos processos é definida pela própria configuração dos equipamentos, tornando-se qualquer alteração bastante difícil e onerosa.

A maioria das máquinas são bastante dedicadas e existem elementos transportadores para movimentação das peças entre elas. É um modo de automação aplicável a fabricação de grandes lotes e de processos relativamente simples, que são classicamente representados pelas linhas transfer.

Células com automação rígida, podem ter as máquinas arranjadas em linhas, círculos, ou em forma de "U", sempre adequando-se as seqüências de processo e aos elementos de movimentação especificados. As seqüências nas linhas devem ser adequadamente balanceadas, de modo que os tempos gastos na movimentação sejam compatíveis entre as estações de trabalho.

AUTOMAÇÃO FLEXÍVEL

Num ambiente de manufatura, a flexibilidade se caracteriza pela habilidade dos sistemas se adaptarem a mudanças, seja na composição dos lotes, nos processos ou nas sequências de usinagem, possibilitando respostas rápidas às necessidades impostas por alterações de mercado [80,15]. A automação flexível fundamenta-se em três componentes técnicos básicos, que são:

- 1-um grupo de máquinas NC;
- 2-um sistema automático de transporte e manuseio;
- 3-um sistema computacional para controle geral.

Uma célula com automação flexível tem portanto, incorporadas todas estas características, sendo as suas máquinas programáveis, permitindo tanto troca de ferramentas quanto de programas, serem feitos via instruções. Esta automação pode ser representada pelas células robotizadas e pelos sistemas flexíveis de manufatura(FMS). Nos FMS's, onde as máquinas são geralmente arranjadas em linha ou em formato retangular, um sistema computacional especial é que controla o transporte das peças e a sequência do fluxo operacional.

Nas células robotizadas, geralmente constituídas por sistema menores, os equipamentos são arranjados de tal modo que robôs possam fazer as operações de carga e descarga das peças, bem como de ferramentas, de modo rápido e preciso. Uma disposição adequada a esta concepção, que geralmente é adotada, é a forma circular.

Uma automação flexível, tem consideráveis vantagens sob os aspectos de qualidade e produtividade, mas por outro lado, quando se tiver uma automação altamente centralizada, os sistemas tornam-se mais vulneráveis a falhas operacionais.

2.4.2- SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)

Os Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS's) representam o mais alto grau de automação das células de manufatura (FMC).

A presença de computadores é responsável pelo controle dos equipamentos de produção, utilizando-se de bancos de dados que são especialmente desenvolvidos, aliados a sistemas de informações para o planejamento, sequenciamento e coordenação das operações de forma integrada.

Definições para FMS's são encontradas na literatura envolvendo os mais diversos aspectos do sistema, sejam em termos de controles, filosóficos ou operacionais [5,18,19,32,67].

De um modo um tanto amplo pode-se definir um FMS como uma combinação de equipamentos, sistemas de controle e de comunicação integrados na manufatura, para um desempenho de alta produtividade, com capacidade de respostas de modo rápido e econômico a mudanças no ambiente operacional.

Os componentes básicos dos sistemas flexíveis são as máquinas ferramentas, os robôs, veículos (AGV's) e sistemas de transporte, e principalmete os computadores e sistemas de monitoramento e controles de processo.

Os principais elementos são listados a seguir [3,19]:

- a) máquinas ferramentas;
- b) estações de carga e descarga;
- c) equipamentos de tansporte e movimentação;
- d) paletes;
- e) elementos de fixação;
- f) ferramentas;
- g) operadores;
- h) computador de controle.

I- ELEMENTOS BÁSICOS DE UM FMS

a)- MÁQUINAS FERRAMENTAS

As máquinas ferramentas evidentemente são uma função do tipo e volume de peças que devem ser produzidas. Para operações de usinagem normalmente são usadas máquinas de comando numérico computadorizado (CNC). Para usinagem de peças prismáticas, as máquinas mais adequadas são os centros de usinagem horizontais, e para peças rotacionais os centros de torneamento. Máquinas de propósito simples também podem ser utilizadas para processos específicos. Existem ainda, equipamentos mais modernos que reúnem as funções encontradas tanto em centros de usinagem, quanto em centros de torneamento.

b)- ESTAÇÕES DE CARGA E DESCARGA

São as estações através das quais as peças são inseridas no sistema e retiradas quando o processo for concluído. Estas estações podem ser exclusivas para alguns tipos de peças, ou de utilização genérica. As peças são normalmente acondicionadas em paletes por operadores, ou por sistemas de manipulação.

c)- EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE E MOVIMENTAÇÃO DE PEÇAS

As peças precisam ser transportadas entre estações de carga, trabalho, e descarga, por meios compatíveis com o sistema produtivo. Sua definição, deve levar em consideração:

- o número de objetos a transportar na unidade de tempo;
- a distância a ser percorrida;
- o grau de flexibilidade necessária;
- a precisão dos movimentos;
- os custos admissíveis.

Os tipos mais comuns de meios utilizados são:

- sistemas de transporte

Consideram-se aqui os sistemas de esteiras com topologias de ramos ou "loops" servindo cada estação, de alguma forma endereçada para que possam alcançar os destinos planejados.

- veículos especiais

Os veículos utilizados podem ser de dois tipos básicos, os vagões sobre trilhos, ou os AGV's (Automated Guided Vehicles). Os AGV's recebem instruções através de sinais indutivos de fios elétricos distribuídos no chão de fábrica, ou através de sinais de rádio e ultra-som, enquanto os vagões andam sobre trilhos. Ambos podem ter trilhas complexas no "lay-out", embora uma distribuição retilínea seja economicamente mais interessante. Alguns veículos levam apenas uma carga de cada vez, enquanto outros admitem várias posições de carga simultâneas.

- os robôs

Existem vários tipos de robôs, móveis ou montados sobre bases fixas, que podem ser utilizados para transportar peças, na maioria dos casos utilizados também no manuseio de ferramentas. Em alguns sistemas, robôs podem ser montados diretamente sobre os AGV's que levam paletes com ferramentas para colocar ou retirar as mesmas dos magazines. Os elementos de contato dos robôs com os materiais, ou seja as suas garras, em alguns casos podem vir a ser substituídas entre o manuseio de um tipo de material e outro, evidentemente com uma redução na flexibilidade operacional.

d)- PALETES

Normalmente as peças são fixadas por dispositivos especiais sobre paletes que, através de algum meio de transporte, são colocadas e retiradas das estações de trabalho.

Dois tipos de paletes podem ser considerados:

- aqueles para lotes de pequenas peças, que são conduzidas em quantidades sobre uma mesma unidade para reduzir a frequência de movimentos, e se utilizam de AGV's ou de robôs;
- os paletes que comportam uma ou mais peças, sendo que os mesmos são introduzidos nas estações de trabalho e sustentam as peças em posição enquanto ocorrem as operações de usinagem.

e)- ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Elementos de fixação especiais, são necessários para prender as peças nos paletes. Usualmente podem ser específicos a cada tipo de peças, no entanto, existem elementos padronizados, que com diferentes montagens, podem servir à fixação das mais diversas peças[16]. Estes elementos podem permanecer agregados aos paletes, ou serem retirados juntos com cada tipo de peças.

f)- FERRAMENTAS

A maioria das ferramentas são montadas nas próprias máquinas, entretanto algumas vezes necessitam ser substituídas devido ao desgaste, decorrente de sua vida útil ou quebra. Esta troca, em alguns casos pode ser manual, mas também feita por sistemas especiais inclusive com uso de robôs.

g)- OPERADORES

Apesar das vantagens das células totalmente automatizadas, em alguns FMS's, ainda se requer a presença do elemento humano para execução de determinadas tarefas. Eles podem ser solicitados para efetuar carga e descarga de algumas peças, e em sistemas de monitoramento, para se enfrentar algumas situações especiais, ou ainda gerenciar o sistema.

h)- O COMPUTADOR DE CONTROLE

A função que melhor caracteriza um FMS, talvez seja a presença de um sistema computacional integrando todas as tarefas de manufatura. Seja passando instruções para as máquinas, aos sistemas de transporte e manuseio, enfim monitorando todo processo, enquanto ocorre a fabricação, (ver figura 2.24).

O monitoramento permite ter disponível, permanentemente o "status" do sistema, possibilitando inclusive passar ao operador instruções que devam ser executadas, como preparar ferramentas, agir nas estações de carga e descarga ou até interferir na programação para ajustar algum desvio de percurso.

As principais atribuições de um sistema computacional em um ambiente de FMS podem ser agrupadas nas categorias [5]:

1)- Controles e instruções nas estações de trabalho

Para um FMS, quer seja de processo, ou mesmo de montagem, tem sempre computadores exercendo controle, em algum nível, sobre as estações de trabalho, mesmo nas máquinas de comando numérico (CNC), onde cada máquina ferramenta tem o seu controle individualizado. Deste modo, alguma forma de estrutura lógica de inteligência centralizada, sempre deverá existir para coordenar o processamento das estações, transmitindo e recebendo informações.

2)- Controle da produção

Baseando-se numa série de informações relativas aos parâmetros de produção, como taxas de produção, quantidades de matéria prima disponível, número de paletes aplicáveis, passam estas variáveis a ser possíveis de controle, mesmo através de interação do sistema com o operador.

3)- Controle de tráfego

Por controle de tráfego, entende-se o controle do deslocamento das peças entre as estações de trabalho. Este controle é feito por zonas, ou seja, por sub-sistemas de transporte primário, entre os diferentes dispositivos operando na instalação.

4)- Monitoramento do manuseio

Todo o sistema de manuseio, precisa ser monitorado, para que o "status" de cada veículo ou palete, seja adequadamente sincronizado com o tráfego entre as estações de trabalho.

5)- Controle sobre as ferramentas

Em dois aspectos fundamentais devem ser controladas as ferramentas, que são referentes a sua localização e monitoração de seu estado, relativo a vida útil.

A avaliação da localização é importante para garantir que, peças só sejam processadas se todas as ferramentas necessárias possam ser encontradas nas respectivas estações de trabalho do FMS, ou consideradas máquinas e rotas alternativas, mantidas nos sistemas de manuseio até que o "status" do sistema esteja adequado. Relativamente a vida útil das ferramentas, com os dados de uso armazenados em arquivos, pode-se através de um monitoramento, notificar ao operador quando a troca se faz necessária. Todos estes controles podem ser realizados por um ou vários computadores, sob diversos níveis de controles. Sejam os CNC's com seus computadores próprios, com sistemas DNC, atuando na distribuição de programas das máquinas ferramentas, ou num nível mais elevado, os sistemas de controles da produção, manuseio, ferramentas e até geração de relatórios diversos.

Relatórios gerenciais podem ser emitidos com informações precisas e detalhadas sobre a execução dos trabalhos, falhas ocorridas e seus diagnósticos, bem como a produtividade do sistema para determinada tarefa, ou de um período de tempo.

Para dispor de informações necessárias aos controles, uma base de dados específica de cada área precisa estar disponível para o computador, que ainda pode estar conectado com sistemas maiores de controle de toda uma fábrica, participando de um sistema integrado de manufatura que seria um sistema CIM.

As informações necessárias aos controles da manufatura devem constar em alguns arquivos essenciais que são:

a)-Arquivos de programas

Para cada peça a ser fabricada, os seus programas correspondentes, devem ser recuperados de arquivos, para estarem disponíveis em todas as estações de trabalho por onde deve haver o respectivo processamento.

b)- Arquivo de rotas

Um arquivo específico deve ser criado para conter as rotas, através das quais as peças devam ser produzidas, podendo conter, ainda, rotas alternativas a serem selecionadas em casos de falhas em alguma estação, ou "backlog" muito grande.

c)- Arquivos de parâmetros de produção

Os parâmetros de produção das peças, devem constar neste arquivo, contendo dados relativos a taxas de produção, tipos de inspeções requeridas, possibilidade de estoques em processo, etc.

d)- Arquivos para referência de paletes

Os paletes devem ser adequadamente referenciados, e cada referência ser associada ao tipo de peças em que podem ser utilizados.

e)- Arquivo de estações de ferramentas

Para permitir o controle das ferramentas, devem ser associados a cada estação de trabalho, os códigos das ferramentas alocadas, com dados para permitir o controle da vida útil, computando-se os parâmetros de usinagem, para que as trocas sejam realizadas antes que falhas ou erros possam ocorrer.

Na figura 2.24 é mostrado um esquema dos principais itens, sobre os quais pode um computador exercer controle numa célula flexível.

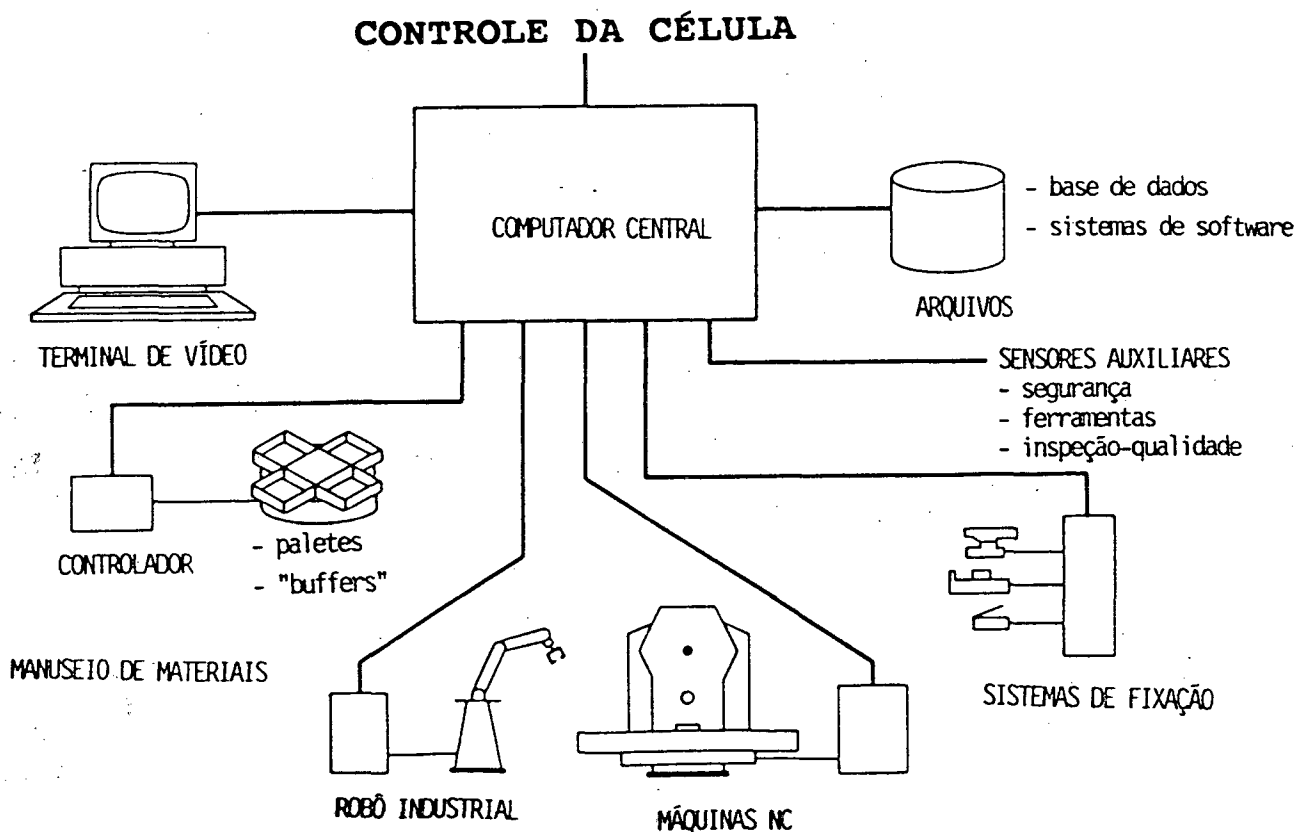


FIGURA 2.24 - O computador numa célula flexível

II- TENDÊNCIA PARA INSTALAÇÕES DE FMS'S

Embora as tecnologias necessárias às instalações estejam disponíveis, o seu desenvolvimento mais acelerado passa a ser apenas uma questão de capacitação e experiência para projetar os sistemas, implantá-los e mantê-los com bons resultados.

A viabilidade, sob os aspectos operacionais e econômicos para os FMS's, torna-se compensável a partir de células de tamanho superior a cinco máquinas [16,102]. Abaixo deste porte a tendência é de se permanecer com a configuração de células flexíveis (FMC's).

Apesar das dificuldades para sua implantação, por razões econômicas e, às vezes, devido a combinação das tecnologias que são necessárias, a limitação para ampliação dos FMS's instalados, não está no lado dos compradores, mas sim na limitada capacidade dos fornecedores. Mesmo assim estima-se que o número de sistemas venha a ser duplicado a cada dois anos, até o final da década [16,78], conforme tendência indicada na figura 2.25.

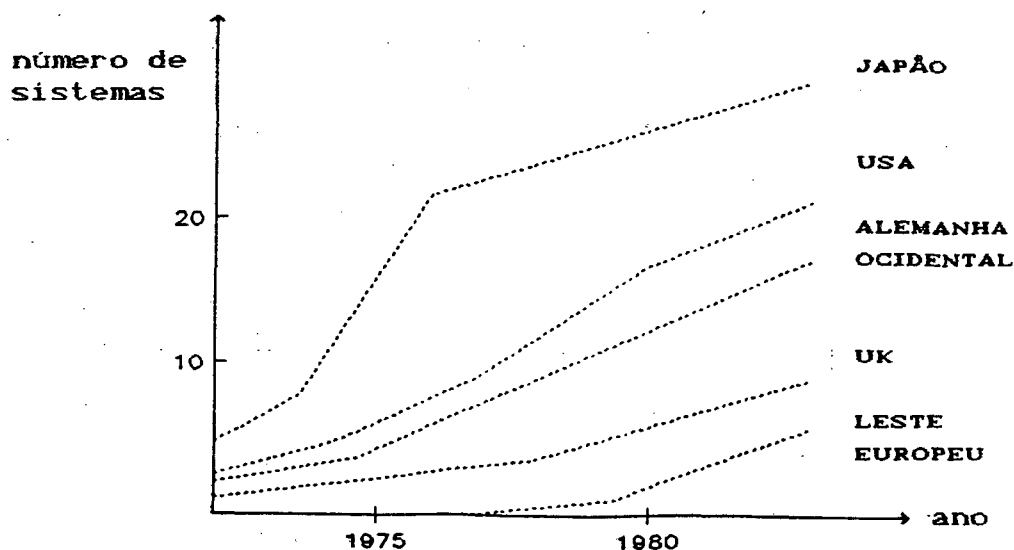


FIGURA 2.25 - Evolução na instalação de FMS's [16]

2.4.3- SISTEMAS ESPECIAIS

Os sistemas especiais são considerados aqueles menos flexíveis dos sistemas integrados por computador. Geralmente são projetados para um número muito limitado de peças, de uma mesma família, mas que tem altas taxas de produção anual [3].

Estes sistemas podem ser constituídos de máquinas convencionais, ou mesmo máquinas especiais, interligadas através de meios que permitam fluxo automático das peças, num arranjo em linha, ver figura 2.26. Têm capacidade de processar sequencialmente diferentes peças através das mesmas rotas.

Uma característica importante é o balanceamento das linhas para compensar os diferentes tempos de ciclos, tempos estes necessários ao ajuste de alguma máquina, ou mesmo devido a pequenas falhas. Para cobrir esta necessidade, "buffers", podem ser alocados entre as estações de trabalho [78].

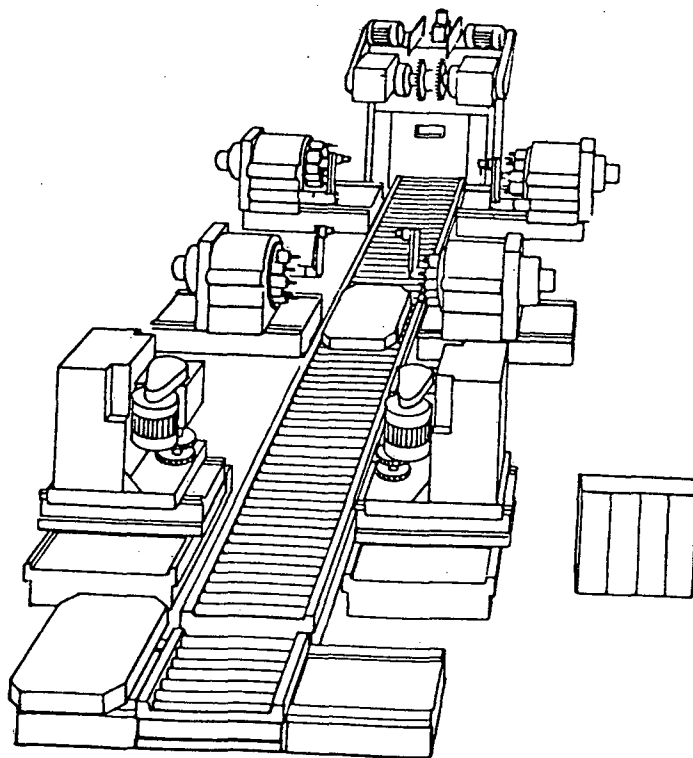


FIGURA 2.26 - Sistema especial de manufatura [3]

C A P Í T U L O 3

3.0-PROJETO DE CÉLULA DE MANUFATURA PELA ANÁLISE DE FLUXO**3.1-ALGORÍTMOS E TÉCNICAS DE AGRUPAMENTO**

Em consequência do crescente interesse que a filosofia de Tecnologia de Grupo vem alcançando nos últimos anos, pelos benefícios aos ambientes de manufatura, e sendo um dos principais aspectos na transformação dos sistemas tradicionais para sistemas celulares, inúmeros algoritmos de agrupamento tem sido desenvolvidos e aplicados. Estes algoritmos, com finalidade de estabelecer as células de máquinas e famílias de peças, tem se utilizado cada vez mais de novos parâmetros e técnicas de aperfeiçoamento e racionalização.

Uma revisão bibliográfica aponta uma preocupação crescente em aperfeiçoar os algoritmos existentes, utilizá-los de modo combinado, e desenvolver sistemas mais complexos, utilizando-se de novas técnicas para aplicações computacionais.

Dentre os trabalhos de maior importância, principalmente pelo seu caráter pioneiro, deve ser considerado o estudo apresentado por Burbidge [92], em que estabelece a conceituação da representação da matriz peça-máquina, avaliando o fluxo e a sequência de produção (PFA), base de desenvolvimento da grande maioria dos sistemas de agrupamento existentes.

Inúmeros trabalhos têm surgido na área de pesquisa, aplicáveis a sistemas de produção na manufatura, abordando vários aspectos do projeto de uma célula, utilizando-se das mais variadas técnicas.

Dentre estes são enumerados aqueles considerados mais importantes, alguns dos quais serão posteriormente detalhados, dada a sua contribuição a evolução do desenvolvimento das pesquisas referentes ao assunto.

MCAULEY [81], foi um dos primeiros autores a aplicar um coeficiente de similaridade para servir de parâmetro de comparação entre as máquinas, e ser utilizado para agrupá-las em células. Este trabalho considera o coeficiente de similaridade de Jacard e é definido em função da semelhança que as máquinas apresentam em relação a determinadas peças que serão nelas processadas.

MCCORMICK [84], apresenta uma outra abordagem, conhecida como BOND ENERGY ALGORITHM (BEA), em que procura maximizar a soma de todos os produtos de cada elemento da matriz de incidência peça-máquina, com os respectivos elementos mais próximos no arranjo, através de permuta nas posições das linhas e colunas. A metodologia tem objetivo de reunir todos elementos significativos da matriz, aqueles de efetiva correspondência peça-máquina, maximizando tanto quanto possível a densidade dos elementos em determinadas zonas do arranjo.

KING [31,32], desenvolveu um método de agrupamento, também através de ordenamento das linhas e colunas, conhecido como RANK ORDER CLUSTERING (ROC). Este método especialmente desenvolvido para agrupar máquinas, trabalha sobre a matriz considerando cada linha e coluna como uma palavra binária e ordenando-as de acordo com o seu valor decimal correspondente.

WEY [75], em seu algoritmo reúne as máquinas em uma série de grupos, baseando-se em um coeficiente de similaridade de um conjunto de peças em relação a um par de máquinas. Considera ainda outros parâmetros de relevância para definir o agrupamento em células.

DUTTA [56], tem uma nova definição para o coeficiente de similaridade, incorporando várias restrições, tais como o volume médio de produção, tempo de cada operação realizada e a rota e sequência das peças nas unidades de operação.

KUSIAK [47,64], tem um tratamento diferente para o agrupamento. Não trabalha apenas com elementos binários na matriz de incidência, mas considera os próprios tempos de processo de cada peça nas máquinas correspondentes. Utiliza ainda um novo procedimento heurístico para definir os grupos, assinalando através de linhas horizontais e verticais, pelo seu cruzamento, os elementos não nulos, como potenciais candidatos às células.

GUNASHINGH [29], apresenta uma metodologia que enfoca o aspecto de ferramentas necessárias às peças e as disponíveis nas máquinas, definindo índices de compatibilidade para gerar os agrupamentos. Estabelece primeiro o agrupamento de máquinas, isto é, define as células para numa fase posterior, alocar as peças que melhor aproveitem a capacidade daquelas máquinas. Trabalha com um índice de similaridade entre máquinas, em função das ferramentas requeridas e disponíveis, e um outro que traduz a compatibilidade entre peças e o grupo de máquinas. O objetivo é de maximizar a soma dos índices de compatibilidade entre todas as peças e os grupos.

KHATOR [35], desenvolveu um outro método que introduz o conceito de valor de ocupação (OV), onde considera o número de máquinas requisitadas por cada peça em relação ao universo do arranjo de máquinas e peças em análise. No cálculo deste coeficiente, são consideradas as máquinas utilizadas por cada peça, avaliadas as outras peças com máquinas comuns. O método rearranja a matriz original noutra, transferindo por ordem, aqueles componentes que utilizam o menor número de máquinas. Para distinguir a ordem de diferentes componentes, que tenham uma mesma utilização de máquinas, é que é calculado o valor OV, para cada componente. Para o resultado mais elevado de OV, que garante adensamento da matriz, ocorre a transferência do elemento correspondente para a matriz resposta de agrupamento.

MONTEVECHI [88], implementou uma metodologia onde, para formação de famílias, baseia-se em análise de fluxo de fábrica e que combina técnicas de agrupamento hierárquico e heurístico. A metodologia faz separação automática das famílias, considerando duas medidas de similaridade entre peças, que são, uma função distância, que dá o número de características diferentes entre duas peças, e um outro coeficiente de similaridade, que avalia máquinas de uso simultâneo por duas peças e aquelas exclusivas de cada uma.

O processo utiliza ainda um ordenamento da matriz, com critério de ponderação das palavras binárias, metodologia do algoritmo ROC[31], definindo vetores dominantes. Um valor de 0.5 é definido para o coeficiente de similaridade que define as peças que são eliminadas e o cálculo de um centróide que, baseado na função distância, define os agrupamentos.

Em função das metodologias em que se baseiam, os algoritmos podem ser classificados em diferentes categorias, embora estudos comparativos, sobreponham esta classificação [34,38,44]. Podem ser destacadas como mais significativas:

- técnicas baseadas em arranjos;
- técnicas de agrupamento hierárquico;
- programação matemática;
- técnicas heurísticas.

3.1.1 - PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Algoritmos baseados nos mais diversos métodos de programação linear[103]; programação quadrática, p-mediana, etc.. Geralmente com objetivos muito específicos na análise dos resultados, como de minimizar custos ou tempos, utilizando-se de informações de seqüências de operações, numa matriz peça-máquina, para encontrar uma solução otimizada.

3.1.2 - TÉCNICAS BASEADAS EM ARRANJO

Consideram-se aqui todos aqueles procedimentos adotados sobre uma matriz de incidência peça-máquina onde se busca o agrupamento das peças em famílias, através de um rearranjo entre as linhas e colunas. A finalidade é visualizar aquelas peças que requerem as mesmas rotas de processo. Dentre estes algoritmos podem ser citados, entre outros: o ROC (Ranked Order Clustering) [31,34] e o BEA (Bond Energy Analysis)[84]. Estes dois métodos podem tratar de peças complexas, isto é, de peças que necessitam ser processadas em mais de um grupo de máquinas. Tem como inconveniente de que para matrizes muito grandes tornam-se difíceis de visualizar os grupos no arranjo peça-máquina.

ROC (RANKED ORDER CLUSTERING)

Este algoritmo foi desenvolvido e apresentado por King [31] e posteriormente aperfeiçoado por King e Narkornchai [32] como a versão ROC2. Na sua concepção original o método estabelece uma ponderação sobre a matriz binária, onde "1" representa a incidência de uma peça na máquina e "0", o caso adverso. O valor decimal correspondente a cada palavra binária, é atribuído para linhas e colunas. Com estes valores, o algoritmo ROC re-arranja as linhas e colunas da matriz de modo interativo, em um número finito de alterações, até que linhas e colunas fiquem dispostas em ordem decrescente.

Para melhor ilustrar a metodologia, considere-se aquela matriz da figura 3.1. Primeiramente estabelece-se o respectivo valor de cada linha e sua posição correspondente a uma ordem de grandeza decrescente dos valores. Assim tomando-se a linha 1, o valor da palavra binária (1010) seria o decimal 10, ou seja:

$$(1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0) = 10$$

peso ---->	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
	1	2	3	4	5	6	valor	ordem
1	0	0	1	0	1	0	10	5
2		1	1				24	4
3	1			1			36	2
4		1	1		1		26	3
5	1			1		1	37	1

FIGURA 3.1 - Matriz com ponderação nas linhas

$$2^3 + 0 + 2^1 + 0$$

Alterando-se a posição das linhas de modo que os valores fiquem posicionados em ordem decrescente, passa-se a calcular o valor para as colunas, como mostrado na figura 3.2.

	1	2	3	4	5	6	
5	1			1			
3	1			1		1	
4		1	1		1		
2		1	1				
1			1		1		
	24	6	7	24	5	16 16	valor
	1	5	4	2	6	3	ordem

FIGURA 3.2 - Matriz com ponderação nas colunas

Alterando-se a posição das colunas para ordem decrescente, resulta na matriz ordenada também pelas linhas.

peso---->	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
	1	4	6	3	2	5	valor	ordem
							----	-----
5	1	1	1				56	1
3	1	1					48	2
4				1	1	1	7	3
2				1	1		6	4
1				1		1	5	5
valor	24	24	16	7	6	5		
ordem	1	2	3	4	5	6		

FIGURA 3.3 - Matriz com linhas e colunas ordenadas

Obtem-se assim, por meio de um ordenamento decrescente dos valores decimais calculados, tanto para as linhas, quanto para as colunas, o agrupamento das peças em famílias. Neste caso foram obtidas duas famílias distintas, quais sejam:

- família 1 (peças 1 - 4 - 6) para a célula 1 (máquinas 5 - 3)
- família 2 (peças 3 - 2 - 5) para a célula 2 (máquinas 1-2-4)

BEA (BOND ENERGY ANALYSIS)

Este algoritmo opera sobre uma matriz que relaciona objetos a atributos, ou outras características. Alternando-se as linhas e colunas, avalia-se uma efetividade da disposição para o agrupamento dos elementos de maior afinidade [68,84].

Uma medida de efetividade (ME), é usada pelo algoritmo, definida de tal modo, que um arranjo que possui alta densidade de elementos, define um maior "ME" que um mesmo arranjo no qual a disposição dos elementos estejam mais dispersos.

A definição do ME para um arranjo considera, para cada elemento, o vínculo que existe deste com seus vizinhos na corrente disposição. A avaliação para um determinado arranjo $A(m,n)$ é dada pela seguinte expressão, convencionando-se que os elementos vizinhos externos ao arranjo sejam todos nulos:

$$ME = 1/2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[a_{i,j} + a_{i,j+1} + a_{i,j-1} + a_{i+1,j} + a_{i-1,j} \right]$$

Considere-se a matriz seguinte onde são apresentados os valores de ME para as diferentes disposições das linhas e colunas no arranjo.

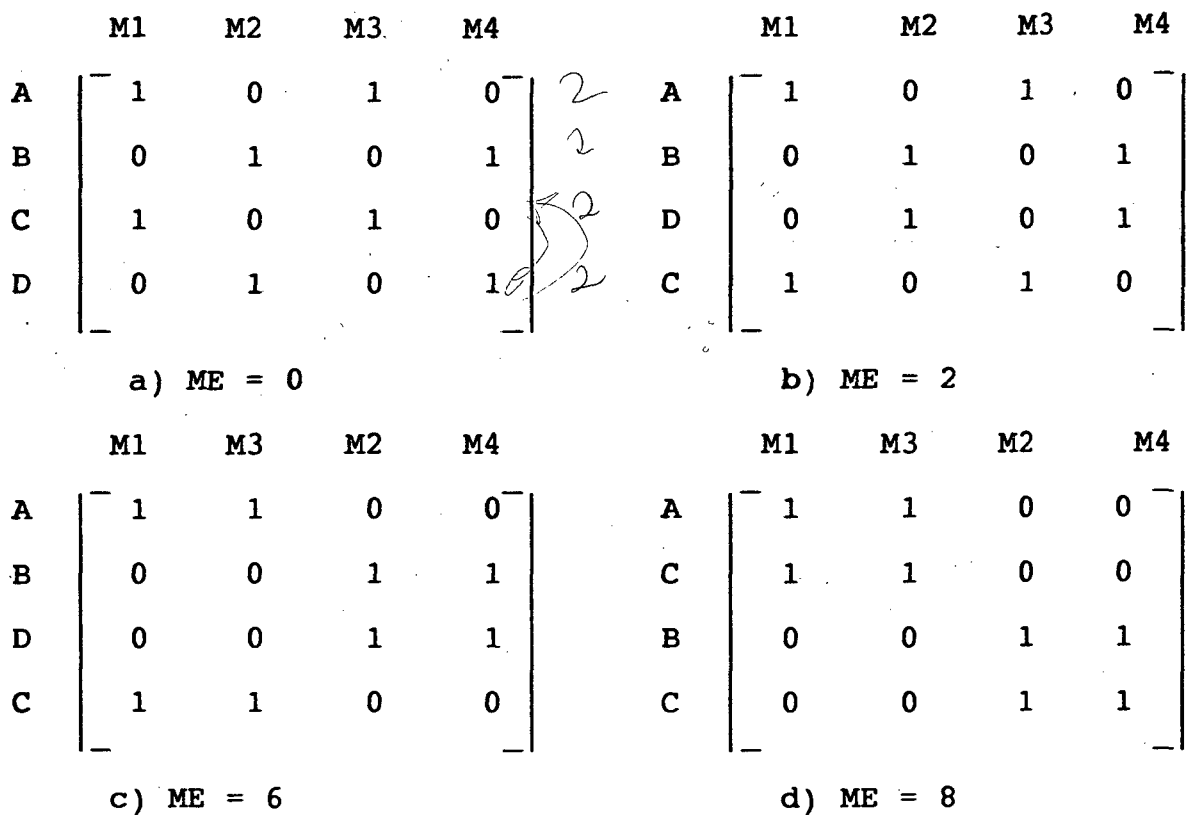


FIGURA 3.4 - Valores de efetividade ME

Este algoritmo pode ser aplicado para qualquer tipo e tamanho de arranjo, desde que os elementos não sejam negativos. A metodologia procura primeiramente re-arranjar as colunas, buscando deixá-las nas posições em que seja maximizado o ME. Numa segunda etapa, busca-se o mesmo objetivo com arrumação das linhas. Assim em duas passadas pelo arranjo, a otimização do ME terá estabelecido a definição dos blocos na matriz, completado um processo de diagonalização, conforme esquema da figura 3.5.

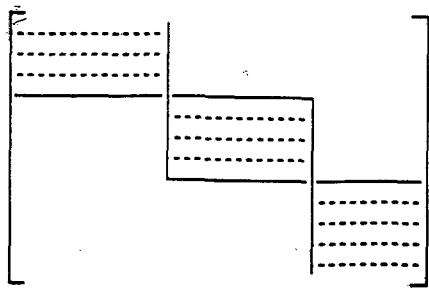


FIGURA 3.5 - Matriz ordenada em blocos

3.1.3 - TÉCNICAS DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO

Metodologias que consideram a similaridade ou dissimilaridade entre as máquinas em relação a sua utilização nas peças a serem processadas [1,2,29,34,36,81].

Dentre os métodos hierárquicos mais difundidos está o SLINK (Single Linkage Clustering) [81]. O SLINK é um algoritmo baseado num coeficiente de similaridade entre dois elementos da matriz peça-máquina, que serve de parâmetro para o agrupamento.

Definido este coeficiente de similaridade entre as máquinas, e estabelecendo-se um valor limite para se cortar o dendograma representativo da similaridade, estarão definidos os agrupamentos de máquinas e respectivas famílias de peças.

COEFICIENTE DE SIMILARIDADE

A similaridade entre duas máquinas "j" e "k" pode ser expressa como a capacidade de processamento de um conjunto de peças que necessitam de ambas as máquinas [01,29].

Este coeficiente entre as máquinas, em função das peças que sejam consideradas como nelas processadas, pode ser expresso conforme os seguintes parâmetros:

$N(a)$ = número de peças que requerem ambas as máquinas "j" e "k"

$N(b)$ = número de peças que não requer nenhuma das duas máquinas

$N(x)$ = número de peças que requerem apenas a máquina "j"

$N(y)$ = número de peças que requerem apenas a máquina "k"

U = número de peças que requerem apenas uma das máquinas

$$U = N(x) + N(y)$$

$S(j,k)$ = Coeficiente de similaridade entre as máquinas "j" e "k"

$$S(j,k) = \frac{N(a)}{N(a) + U}$$

Considere-se o exemplo ilustrativo da formulação, para a seguinte matriz de rotas peça-máquina(figura 3.6), e o cálculo de alguns coeficientes de similaridade.

		peças											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
máquinas	2	x	x					x		x			x
	3				x	x	x				x		
	4				x		x				x		
	5			x		x	x			x		x	
	6	x				x		x	x		x	x	
	7		x		x			x		x	x	x	x
	8			x			x		x	x	x	x	x

FIGURA 3.6 - Matriz peça máquina

$$S_{2,3} = \frac{0}{0 + 9} = 0$$

$$S_{2,5} = \frac{1}{1 + 8} = 0.11$$

$$S_{2,6} = \frac{2}{2 + 7} = 0.22$$

Assim a matriz de similaridade das máquinas, quando se calcularem os demais coeficientes, ficaria conforme figura 3.7.

	2	3	4	5	6	7	8
2		0	0	.11	.22	.5	.1
3			.75	.28	.25	.22	.25
4				.14	.12	.25	.28
5					.22	.20	.56
6						.30	.33
7							.30
8							

FIGURA 3.7 - Matriz de Similaridade

Supondo-se que sejam aceitos coeficientes de similaridade para valores até 0.5 ficariam, conforme o dendograma de similaridade da figura 3.8, definidos quatro agrupamentos de máquinas que são: (3 e 4), (5 e 8), (2 e 7) e 6.



FIGURA 3.8 - Dendograma de similaridade

3.1.4 - TÉCNICAS HEURÍSTICAS

Um algoritmo heurístico baseia-se em procedimentos não classificatórios ou de utilização de coeficientes de similaridade mas, de modo geral, em algum critério estabelecido como gerador de agrupamento, via determinados procedimentos heurísticos.

Um destes algoritmos, apresentado por Kusiak [47,64], estabelece a definição dos agrupamentos partindo de determinada linha de uma matriz peça-máquina. Nesta linha, que identifica uma máquina, é admitindo que todos os elementos não nulos por ela cruzados, são potenciais elementos de uma famílias de peças. Alguns outros critérios heurísticos são considerados em paralelo a metodologia básica, para estabelecer restrições operacionais.

Esta metodologia será objeto de aplicação computacional implementada a seguir.

3.2 - APLICAÇÃO DE UM ALGORÍTMO HEURÍSTICO PARA PROJETO

A escolha de um ambiente celular para a fabricação é adequada predominantemente para sistemas de produção de grande variedades de peças, em volumes que não justifiquem investimentos em equipamentos dedicados, por serem pequenos ou médios os lotes.

Dentre os aspectos relevantes que devem ser considerados quando do projeto do sistema, podem ser destacados [88]:

- os investimentos em equipamentos;
- a flexibilidade desejada para o sistema;
- a distribuição da carga de trabalho;
- o número de peças a produzir;
- o número de máquinas por grupo;
- as características das máquinas;
- a frequência de fabricação;
- aspectos políticos internos das empresas.

Dentre estes aspectos, alguns ficam para definição e decisão em áreas pertinentes a análise de mercados, aos setores financeiros, ou mesmo de âmbito administrativo. Do ponto de vista técnico-operacional, as características correspondentes devem ser avaliadas durante o projeto das células.

Para o algoritmo a ser implementado alguns parâmetros de projeto são definidos como restrições para criação de famílias e células, sendo respectivamente:

- o tamanho da célula;
- o limite de carga para cada máquina;
- a interdependência entre as máquinas.

a) O tamanho da célula:

O tamanho de uma célula, medido pelo número de processos ou de máquinas alocadas na mesma, é um parâmetro que deve ser controlado por várias razões tais como:

- a limitação do espaço físico disponível;
- o tipo de sistema de movimentação desejado;
- o número de operadores integrados a cada célula, para que estes possam acompanhar o seqüenciamento, e ter uma visão adequada do conjunto, facilitando a supervisão.

b) Carregamento das máquinas:

O planejamento operacional de uma célula implica na análise de dois enfoques que são, o carregamento, e a programação das máquinas em estudo. A busca de uma solução otimizada, simultaneamente para os dois aspectos, é um tanto complexa, principalmente num período de planejamento em curto prazo. Para facilitar a busca de uma solução, normalmente procura-se resolver os dois aspectos separadamente. Uma vez estando o problema do carregamento definido, a programação fica condicionada a atender de forma mais adequada o equacionamento.

Nos sistemas tradicionais, muitos estudos e metodologias são aplicadas para resolver o problema da programação com enfoque nas peças a produzir. Nos sistemas celulares, notadamente para os mais automatizados como os FMS's, a conotação muda devido ao alto custo dos equipamentos, tanto das máquinas, quanto dos sistemas de manuseio e movimentação dos materiais e de controle. As peças passam a ser apenas mais um item de programação dentre um universo que compreende os paletes e fixações, as ferramentas e os demais sistemas.

Mesmo assim, embora se tenham vários itens a considerar em programações separadas, normalmente as peças tem um maior significado devido a se desejar uma alta utilização das máquinas ferramentas pelo seu elevado custo. Estima-se que nos FMS's as máquinas ferramentas representem em torno de 65% dos custos do sistema [94].

No presente estudo, será enfocado apenas o aspecto de carregamento das células, representado pela alocação dos tempos de processo das peças da família em definição, com as máquinas correspondentes. Máquinas estas definidas pelas respectivas rotas dentro de determinado período de tempo considerado.

São estabelecidos limites para o carregamento de cada máquina para fins de alocação dos tempos de processos das peças durante a definição das famílias.

O somatório dos tempos de processo, de todas as peças de determinada família, devem ser mantidos em níveis no máximo iguais ao limite definido para a máquina correspondente.

c) Interdependência de máquinas:

Consideração que deve ser feita para manter na mesma célula aquelas máquinas que apresentem interdependência devido a características tecnológicas, ou alguma razão estratégica. Mesmo o aproveitamento de equipamentos complementares existentes, podem impor o atrelamento, entre outras justificativas, como aquelas relativas ao porte, a precisão, compatibilidades de tecnologias como comandos CNC, etc.. Uma vez uma máquina sendo definida para uma célula, aquelas outras que mantiverem alguma dependência, deverão automaticamente constar naquele agrupamento.

3.3 - A DEFINIÇÃO DO ALGORÍTMO

O algoritmo definido para obter o agrupamento das peças em família, baseia-se em um procedimento iterativo, que busca a formação das células e conseqüentes famílias, como resultado da primeira solução encontrada, de acordo com um determinado procedimento heurístico[47,64].

A seleção é orientada, de modo a se obter com a escolha, uma maximização na utilização dos recursos de produção dentro da célula, ou seja, que se aproveite ao máximo possível dos recursos disponíveis, no ambiente em que está sendo definido.

A metodologia do agrupamento trabalha com a análise do fluxo de produção(PFA), onde a incidência das peças nas máquinas é assinalada com o correspondente tempo de processo para cada etapa da seqüência de fluxo. O tratamento heurístico para agrupar os dados, baseia-se em duas simples observações sobre a matriz de incidência da relação peça-máquina, que são:

1) Determinar linhas horizontais "hi".

Uma horizontal "hi", traçada por qualquer linha da matriz peça-máquina, escolhida arbitrariamente, ou definida por um critério qualquer, irá cruzar os elementos $t(i,j)$, que definem as relações entre uma peça "j" numa máquina "i". Quando esta relação estiver assinalada por um valor não nulo, significa que a peça "j" deve ser processada na máquina "i". Isto significa que a máquina "i" é uma potencial candidata a inclusão na célula .

Na figura 3.9, a linha "h2" cruza dois elementos diferentes de zero, respectivamente nas posições $t(2,3)$ e $t(2,5)$ que representam os tempos de processo 7.5 e 1.6 das peças 3 e 5 que são peças a serem fabricadas na máquina 2.

2)Determinar linhas verticais "vj"

Do mesmo modo, verticais "vj" traçadas pelas colunas da matriz, nos elementos não nulos cruzados pelas horizontais, sobre t(i,j), encontram máquinas utilizadas pela peça "j".

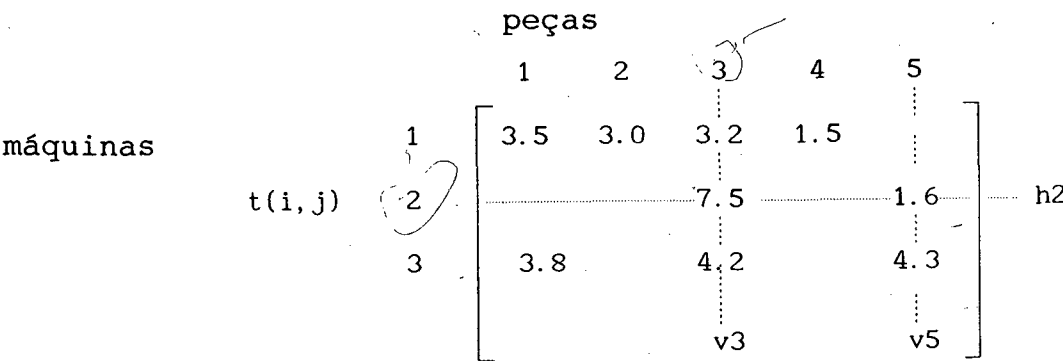


FIGURA 3.9 - Matriz com tempos de processo t(i,j)

3.4 - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA DEFINIÇÃO DO ALGORÍTMO

m = número de máquinas

n = número de peças

tij = tempo de processo da peça "j" na máquina "i"

Cj = custo para produção da peça "j"

Ti = tempo máximo disponível para processamento na máquina "i"

CM = célula de máquinas

FP = família de peças

custos C1 C2....CjCn

peças 1 2.....j.....n

Tempo

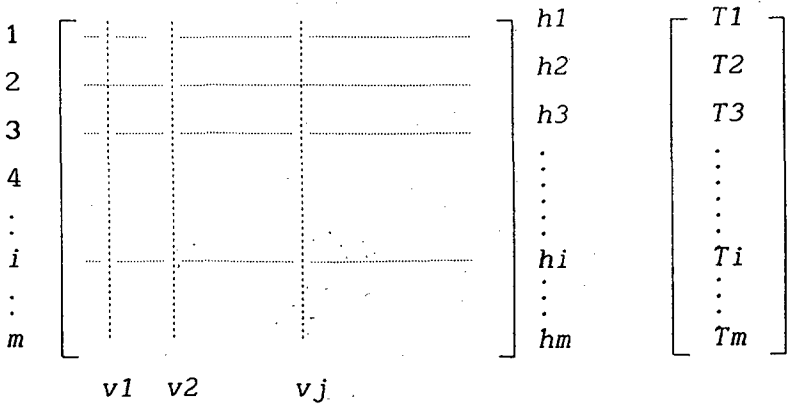


FIGURA 3.10 - Esquema da matriz peça-máquina t(i,j)

3.5 - ETAPAS DO ALGORÍTMO

Passo 0 : Setar o número de interações $k = 1$

Passo 1 : Selecionar linhas da matriz $t(i,j)$ para interação k , traçando horizontais " h_i " através de cada linha que for escolhida. Verificar se máquinas selecionadas possuem dependentes, no caso selecioná-las em conjunto.

Passo 2 : Para cada entrada na matriz em que $t(i,j) > 0$ seja cruzada pelas linhas horizontais já definidas, traçar uma vertical " v_j ". Peças indicadas nestas verticais são potenciais candidatas a família FP- k .

Passo 3 : Proceder a verificação das restrições estabelecidas para o projeto; restrições R1, R2, R3 definidas no item 3.6. Verificar se há elementos com cruzamentos na matriz ainda não verificados. Se não houver, passar para etapa do "passo 6". Caso contrário, ao "passo 4".

Passo 4 : Para cada entrada $t(i,j) > 0$ cruzada por uma vertical " v_j ", traçar uma horizontal " h_l " na matriz. Se estas provocarem mais cruzamentos consequentes, com as linhas horizontais, voltar ao "passo 3". Caso contrário para o "passo 5".

Passo 5 : Para cada $t(i,j) > 0$ cruzado por " h_l " traçar verticais " v_r " e voltar ao "passo 3".

Passo 6 : Destacar as máquinas da célula CM - k .

Destacar as peças da família FP - k .

Reduzir a matriz removendo as linhas e colunas dos elementos já agrupados.

Setar índice de interação em $k = k + 1$.

Voltar ao "passo 1" ou parar processo.

3.6 - PROCEDIMENTOS PARA TRATAR AS RESTRIÇÕES NO PROJETO

1) Limite de carregamento (R1):

O limite de carregamento de cada máquina, consideradas todas as peças da família, deve se manter em nível igual ou inferior a capacidade de processamento definida para o período (T_i).

$$\sum_{j=1}^n t(i,j) \leq T_i$$

Quando o $\sum t(i,j)$ superar o limite T_i , duas medidas podem ser tomadas para contornar o problema. Se este valor for ultrapassado em mais de 50% além do estabelecido, adota-se como solução duplicar a máquina "gargalo". São mantidas então aquelas peças já agrupadas, destacando-se as demais na segunda máquina. Caso o valor do excesso de carregamento seja inferior a 50% do limite, são analisadas as peças em estudo, e com o critério de maximizar a utilização dos recursos de produção dentro da célula, eliminam-se peças, até se adequar ao limite de tempo T_i . Verificam-se os custos unitários de produção de cada peça (C_j), e multiplicam-se cada um pelo respectivo tempo $t(i,j)$. Procura-se maximizar o somatório, retirando-se o menor produto ($C_j \times t(i,j)$) até que o valor de carregamento fique compatível com limite:

$$\text{máximo } \sum_{j=1}^n C_j t(i,j) \quad \text{para manter } \sum_{j=1}^n t(i,j) \leq T_i$$

As peças retiradas da matriz, devido a este critério, serão peças rejeitadas dos agrupamento em famílias, para terem outro destino de fabricação. Poderão ser em um sistema de "lay-out" funcional, ou mesmo serem encomendadas com fornecedores externos.

2) Definição do limite de carregamento T_i

O limite de carregamento de cada máquina, para efeito de projeto da célula, é definido pela seguinte expressão com as respectivas variáveis:

$$T_i = 480 \cdot n \cdot c \cdot p$$

n = número de turnos de trabalho de uma jornada

c = coeficiente de utilização da máquina

p = período de tempo considerado

O valor 480 significa a duração em minutos de um turno de 8 horas de trabalho, ou disponível para a operação.

3) Tamanho da célula (R2)

Restrição imposta para limitar o número de máquinas por célula. Para efeito de estudos foi estabelecido como limite um número de cinco máquinas, que define um ponto de corte na interação do algoritmo. É no entanto uma variável de entrada do sistema, que deve ser definida para cada caso específico.

4) Interdependência entre as máquinas (R3)

As máquinas com interdependência tem esta característica assinalada em seu registro de cadastro. A cada nova máquina incluída na célula, é verificada a existência desta informação. Em caso positivo, é observado se a máquina adicional já está definida. Caso contrário, passa a ser inserida no agrupamento. Em consequência a verificação da restrição R2 (tamanho da célula) também é acionada.

C A P Í T U L O 4

4.0 - SISTEMA COMPUTACIONAL PARA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORÍTMO

O sistema proposto, a nível de protótipo para projeto de células, foi implementado na linguagem Turbo Pascal (versão 5.5) em microcomputador padrão PC, e estruturado nos módulos básicos:

- cadastramento das informações;
- processamento das informações.

4.1 - MÓDULO DE CADASTRAMENTO

São criados três arquivos com informações relativas às peças (PEC_CAD), as máquinas (MAQ_CAD) e ao sequenciamento e fluxo das peças através das máquinas (ROTAS_CAD).

4.1.1 - CADASTRO DAS MÁQUINAS - "MAQ_CAD"

O arquivo MAQ_CAD foi definido para conter informações básicas relativas às máquinas, necessárias na utilização daquilo que o sistema de projeto se propõe. Cada registro está estruturado em cinco campos, contendo as seguintes informações:

- a) - referência do equipamento;
- b) - descrição do equipamento;
- c) - relação de dependência entre máquinas;
- d) - coeficiente de utilização para operação;
- e) - indicação do "status" do registro.

Muitas outras informações, relativas às máquinas, poderiam ser cadastradas se o propósito fosse de maior amplitude de utilização. Limitou-se no entanto apenas aquelas que fossem utilizadas na aplicação proposta, e que poderiam também serem buscadas em um banco de dados genérico sobre equipamentos.

4.1.2 - CADASTRO DE PEÇAS - "PEC_CAD"

No arquivo PEC_CAD estão armazenadas as informações relativas a identificação das peças referenciadas na matriz peça-máquina com as rotas de processo e seqüência do fluxo, que são:

- a) - referência da peça;
- b) - descrição da peça;
- c) - tamanho do lote de fabricação;
- d) - custo da unidade de tempo de processo;
- e) - indicação do "status" do registro.

4.1.3 - CADASTRO DAS ROTAS E FLUXO DE PEÇAS - "ROTAS_CAD"

Arquivo para cadastro de determinada matriz de fluxo com as informações das rotas de um conjunto de peças, e certo número de máquinas, em que se pretenda aplicar técnicas de agrupamento para o projeto das células e famílias correspondentes.

As informações são registradas de tal modo que, para cada peça, correspondam tantos registros quantas forem as máquinas em que é processada, indicando também o respectivo tempo de processo. Assim cada registro tem o seguinte conteúdo:

- a) - referência da peça;
- b) - referência da máquina;
- c) - tempo de processamento da peça na máquina;
- d) - indicação do "status" do registro.

4.2 - MÓDULO DE PROCESSAMENTO DOS DADOS

4.2.1 - MONTAGEM DA MATRIZ PEÇA-MÁQUINA

Toda a metodologia do algoritmo se baseia na matriz de incidência peça-máquina, montada de tal modo que a cada linha corresponda a uma máquina e nas colunas sejam representadas as peças. Tem portanto dimensão de "n" linhas, correspondente ao número de máquinas, e "m" colunas correspondentes ao número de peças.

A matriz é montada pelo programa principal, a partir dos registros do arquivo ROTAS_CAD. Para cada novo número de identificação de peça lido, é criada uma coluna da matriz, verificando-se se a máquina em que é processada já está alocada na mesma. Caso ainda não esteja, é acrescentada, criando-se também uma nova linha.

As referências de identificação das máquinas e peças são indexadas a posição relativa que ocupam, na ordem de entrada na matriz, através dos vetores VET_PEC e VET_MAQ, criados pelo programa. Assim cada máquina que for considerada na linha "i" da matriz, terá sua identificação armazenada na posição "i" do vetor VET_MAQ. Do mesmo modo a identificação de uma peça "j" da matriz ficará armazenada na posição "j" do vetor VET_PEC.

Nas posições da matriz, são armazenados os tempos de processo das peças nas máquinas correspondentes, $t(i,j)$, multiplicados pelos seus respectivos tamanho de lotes. Estes tamanhos de lote estão definidos nos registros do arquivo de informações das peças.

Um fluxograma geral para a criação da matriz é apresentado na figura 4.1.

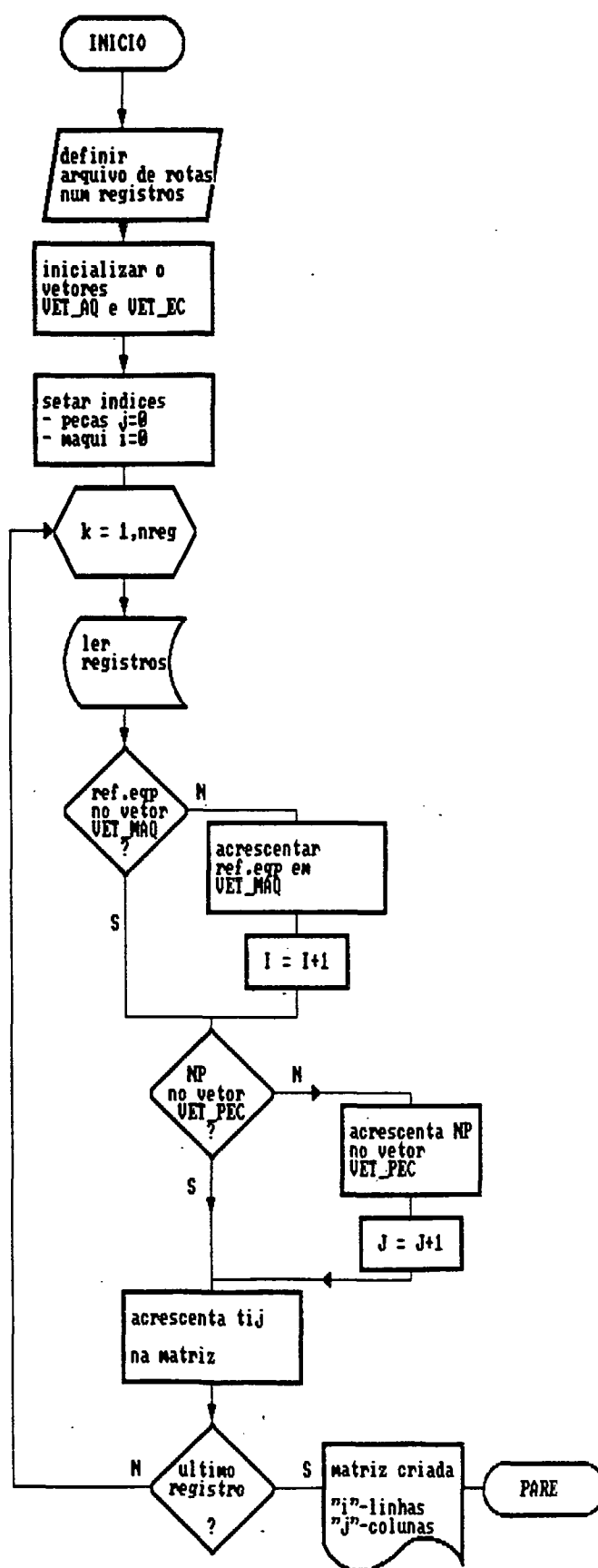


FIGURA 4.1 - Fluxograma para montagem da matriz

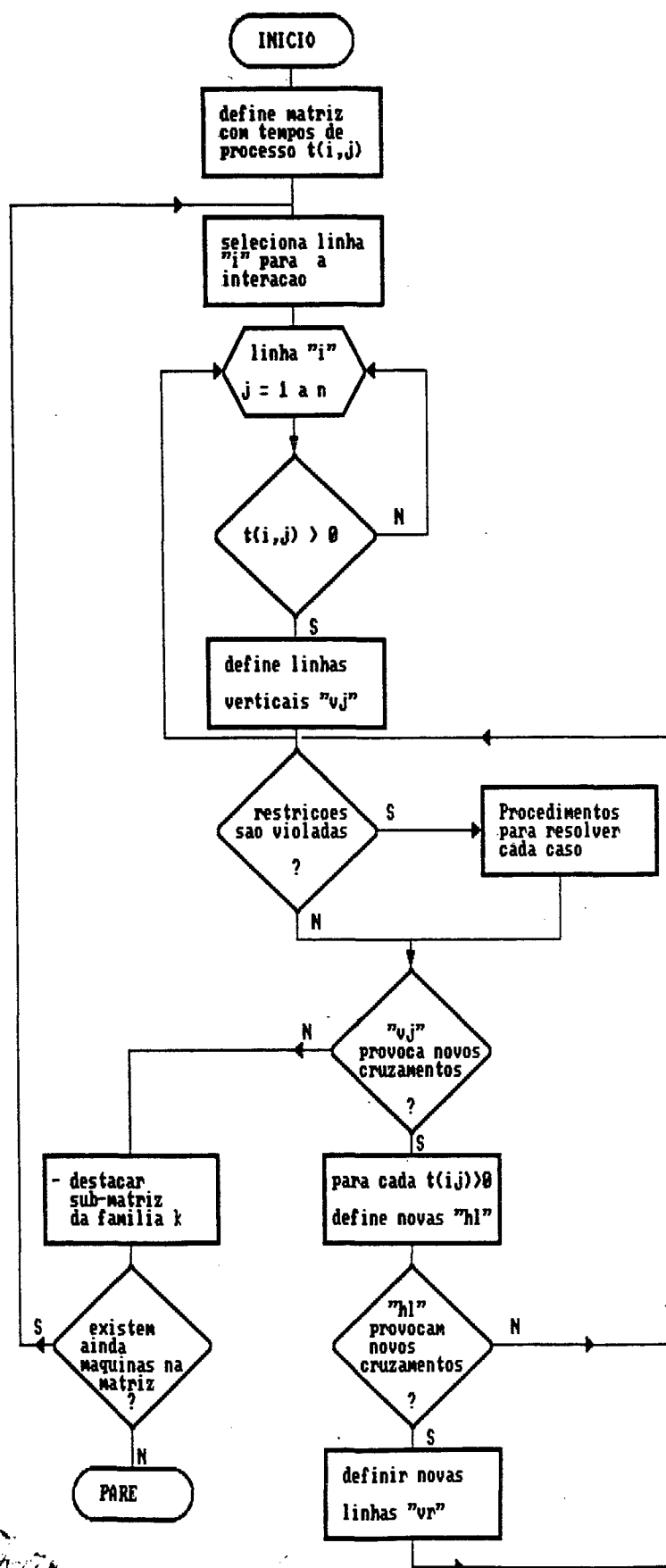


FIGURA 4.2 - Fluxograma lógico do algoritmo

4.2.2 - APLICAÇÃO DO ALGORÍTMO SOBRE A MATRIZ

Definida a matriz de trabalho, o programa aplica o algoritmo, buscando dentro dos parâmetros especificados, estabelecer as famílias de peças e correspondentes células de máquinas, conforme metodologia descrita no capítulo 3, ilustrada pelo fluxograma da figura 4.2.

O tratamento específico da configuração pretendida, é definida pelos parâmetros contidos nos cadastros das peças e máquinas, ou especificados pelo usuário em tempo de execução. Definem-se em modo de execução, o limite de máquinas por célula, e o tempo operacional a considerar no planejamento. Este tempo é calculado em função do regime de turnos de trabalho operacional. Um turno é considerado como um intervalo de 8 horas, e o período, um intervalo em dias, respectivamente como jornada(1), semana(5), e mes(20). Com estes dados, são calculados os limites de disponibilidade para cada máquina, considerando o respectivo coeficiente de utilização.

A base de dados de processo para o algoritmo, é gerada a partir do arquivo ROTAS_CAD, específico de cada planejamento.

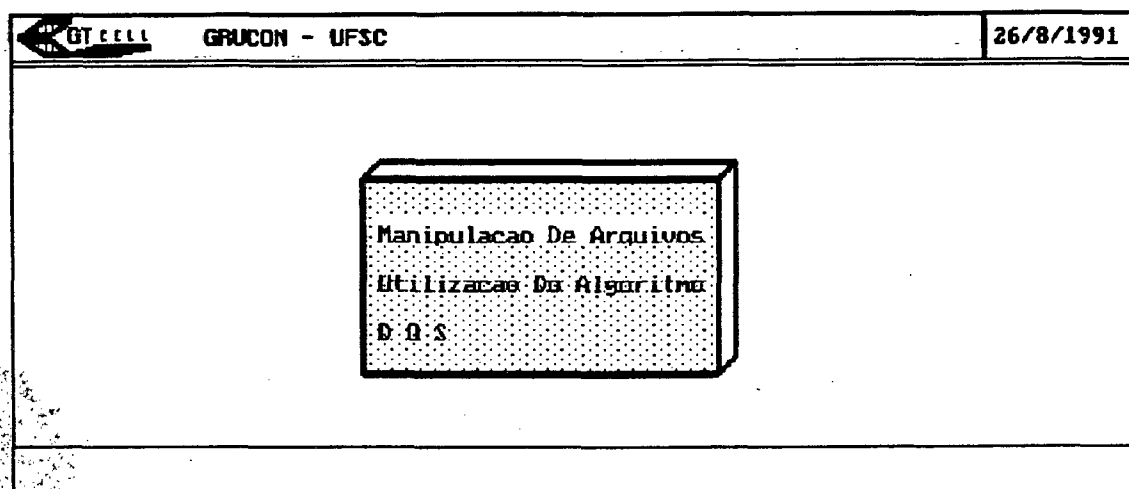
4.2.3 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O programa que executa o algoritmo apresenta como resultado final uma matriz diagonalizada em blocos, que representam os agrupamentos obtidos, e definem as famílias de peças e respectivas células de máquinas. São destacadas também, aquelas peças que são rejeitadas, por não se enquadrarem nos agrupamentos, e devem ser tratadas em regime tradicional de fabricação, como um ambiente "job-shop".

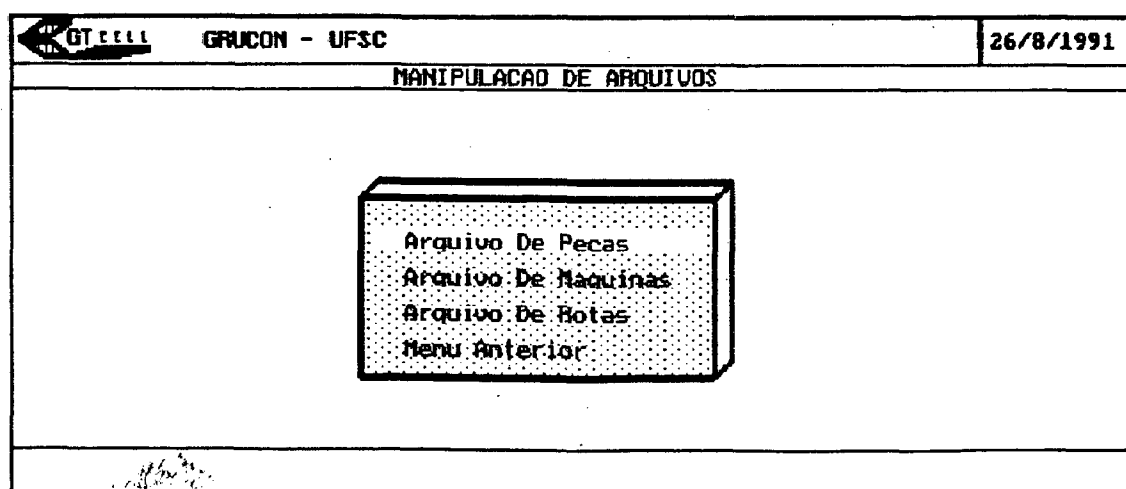
Para ilustrar a interação, do sistema computacional implementado com o usuário, é apresentada uma sequência de telas, representativas do processamento de uma matriz exemplo de 21 peças com 11 máquinas.

O sistema tem dois módulos gerais, um para tratamento das informações, com as arquivos da base de dados, e outro para a processamento do algoritmo.

MÓDULO DE TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES



A base de dados está dividida em três tipos de arquivos principais; para as peças, para máquinas e das rotas de fluxo.



A manipulação dos arquivos tem um menu geral para as diversas interações com a base de dados.

C A P Í T U L O 5

5.0 - CONSIDERAÇÕES

5.1-RACIONALIZAÇÃO E SIMPLIFICAÇÃO

Esta pesquisa teve como enfoque principal, trazer a tona e esclarecer um conjunto de idéias e ferramentas para a aplicação na organização de ambientes de manufatura, notadamente aplicáveis naqueles ambientes do ramo metal-mecânico, tentando-se evidenciar que, se de um lado há uma emergente necessidade de se automatizar os sistemas para se ganhar em qualidade e produtividade, de outro depara-se com dificuldades operacionais que sinalizam para outras importantes mudanças de natureza organizacional. Mostra-se como imprescindível que, antes desta etapa de automatização, ou em paralelo a ela, se implante, nos ambientes tradicionais, uma ampla e eficiente racionalização de procedimentos na organização e gerenciamento operacional. Sistemas de automatização, muitas das vezes, implicam em altos investimentos. Faz-se necessário, por isso, preparar o ambiente de manufatura para uma automatização que seja coerente, eficiente e factível com a realidade, para garantir não só a eficiência operacional, mas principalmente um retorno financeiro dos investimentos.

Sob o aspecto operacional, um fator essencial nos tempos atuais, que deve orientar qualquer mudança num ambiente de manufatura, deve considerar o aspecto de flexibilidade. Com um mercado que evolui muito rapidamente, somente certo grau de flexibilidade permitirá adaptar-se às mudanças com mínimos investimentos e alterações estruturais nos sistemas produtivos.

Simplificação e racionalização, devem ser os princípios básicos presentes em quaisquer metas para alterar procedimentos.

5.2 - MUDANÇAS DE ORGANIZAÇÃO E BENEFÍCIOS

Como em qualquer ambiente em que se pretenda introduzir mudanças de atitudes ou procedimentos, envolvendo o aspecto humano, haverá sempre uma natural resistência a reestruturar os hábitos e rotinas de trabalho, em qualquer nível que se atue.

Implementar uma nova filosofia, para organizar um ambiente de manufatura, como a Tecnologia de Grupo, não é diferente. Por isso um processo de alteração da organização, certamente irá gerar fortes resistências, e terá que ter um assíduo acompanhamento e principalmente um envolvimento da gerência superior. As equipes operacionais tem que encontrar na gerência maior, um ponto de sustentação e decisão para resolver os conflitos que inevitavelmente irão ocorrer. Uma reorganização radical, é uma tarefa complexa que requer certa metodologia de implementação, e principalmente muita determinação. Muitas vezes é recomendável iniciar por alguns setores isolados, testar reações e aguardar certa assimilação da cultura, para depois se expandir de maneira global, com o aval dos resultados já evidenciados.

A natural resistência do elemento humano pode se apresentar de diferentes formas, em função da percepção de cada um em situar-se em novo papel na organização e conseguir perceber resultados práticos. Resultados estes que às vezes demoram para se evidenciar, mas não podem por isso deixar questionar a validade ou eficácia da filosofia, antes que um natural tempo de maturação decorra, permitindo que eventuais obstáculos sejam transpostos.

A experiência de casos bem sucedidos, de reorganização de ambientes baseados em manufaturas tradicionais que migraram para filosofia de Tecnologia de Grupo, demonstram que os esforços empreendidos podem trazer ganhos econômicos significativos, podendo garantir retorno dos investimentos em prazo médio de dois anos [11,96,97]. Estes ganhos podem ser quantificados a partir dos seguintes resultados:

- redução dos tempos de "set-up", 40 a 60%;
- redução de projeto de ferramentas, 20 a 40%;
- redução nos tempos de processo, 40 a 60%;
- redução de retrabalho e perdas, 15 a 75%;
- redução de custos de manutenção de estoques, 20 a 50%;
- redução nos tempos de planejamento de processo, 20 a 30%;
- redução no espaço necessário para fábrica, 20%;
- redução em novos projetos de peças, 50%.

Muitos outros benefícios trazidos pela GT, são difíceis de serem quantificados, mas seus resultados são evidentes. Dentre eles, podem ser destacados como de maior relevância: a uma maior simplificação de toda a organização de manufatura, a melhoria do clima de trabalho e o crescimento nos padrões de qualidade.

Do ponto de vista de projeto, as reduções do número de novas peças, que deixam de ser geradas com a adoção de um sistema de codificação e classificação, significam redução de tempo e recursos, além de favorecer a padronização.

Entre outras vantagens da GT, na automatização de tarefas de produção, estão as facilidades para a criação e aplicação dos sistemas CAPP, definição de um "lay-out" racional, formação das células e conseqüente simplificação da programação de produção.

5.3 - PADRONIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS

A padronização de métodos e procedimentos é uma tarefa bastante complexa e trabalhosa. Quando se considera a abordagem de Tecnologia de Grupo todas as peças precisam ser codificadas, as famílias determinadas, e requisitos de produção confrontados com as capacidades das máquinas, para que se desenvolvam rotinas e planos de processo adequados com a nova organização.

Novas mentalidades e metodologias, para gerar rotinas e estabelecer planos de processo, precisam ser bem definidas para se eliminar a tendência de influências pessoais. Influências estas, calcadas em pontos de vista e experiências particulares, e não em padrões comuns. Isso implica na necessidade de uma grande sintonia entre os ambientes de projeto e manufatura, para se fabricar conforme for definido e reciprocamente definir de acordo com as condições e capacidades estabelecidas dentro da flexibilidade do ambiente de manufatura instalado. Deve-se evitar que, às vezes, pequenas alterações de projeto, mesmo pouco significativas, impliquem em grandes transtornos para a manufatura, mas que esta também seja passível de otimização e aumento de produtividade quando se impuser algumas restrições ao projeto.

A tarefa de procurar otimizar as atividades de projeto e manufatura, mantendo a flexibilidade que for necessária, é uma meta nada fácil, requerendo às vezes, tempos consideráveis de acomodação, bem como abertura de novos níveis de comunicação, para superar obstáculos e resistências naturais que surgem de campos profissionais diferentes. Impõe-se falar numa mesma linguagem com instrumentos de comunicação bastante sincronizados.

5.4 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Dentro de um ambiente de manufatura , um bom sistema de informação torna-se um elemento tão importante quanto os principais elementos físicos do sistema. O fluxo de informações deve transitar rápido e eficazmente entre todos os setores envolvidos. Uma base de dados de manufatura deve ser facilmente acessável pelos sistemas de programação, planejamento, controle e gerenciamento da produção. O sistema para ser ágil e eficiente, deve ser o mais completo possível e, ao mesmo tempo, manter a maior simplicidade compatível com aquelas necessidades que se constituem essenciais ao ambiente. No que se refere a informações operacionais, o sistema deve permitir principalmente:

- permanente acompanhamento do "status", no que diz respeito a equipamentos, peças, dispositivos e ferramentas em processo;
- controle das ocorrências durante as operações de preparação, paradas, e andamento dos processos;
- informar e comandar seqüenciamentos, ordens de produção, e operações de carga e descarga;
- gerar relatórios referentes a operação, produção e manutenção;
- enviar e receber mensagens entre operação e controle.

Um procedimento fundamental a ser verificado, antes de implantar qualquer sistema, é o de efetuar uma profunda análise da quantidade, utilidade e qualidade das informações, para se proceder uma simplificação a nível daquilo que realmente seja essencial aos objetivos, garantindo a confiabilidade.

O contexto das informações deve ser suficientemente claro para que seja bem entendido por quem de competência, e permitir uma informatização com mínima circulação de papéis.

5.5 - ANÁLISE DO ALGORÍTMO IMPLEMENTADO

Existe uma grande diversidade de algoritmos com as mais variadas metodologias, que evidentemente fornecem resultados até muito diferentes, sobre uma mesma massa de dados. Os resultados são sempre uma combinação da metodologia em si, associada a diferentes critérios e limitações, que são estabelecidas em paralelo, implicando em um maior grau de processamento ou complexidade de análise decisória.

Uma vantagem do presente método, é que como procedimento básico, ele é bastante simples, o que facilita o processamento. Sob outro aspecto, o do processo decisório e ajustes, é aberto a uma grande adaptabilidade para características diferenciadas. Assim, novos critérios ou restrições são passíveis de adoção em paralelo, podendo serem tratadas por diferentes técnicas, como por sistemas especialistas.

Os algoritmos, de modo geral, são sensíveis aos dados tratados. Isto significa que, com uma determinada base de dados, no caso a matriz de incidência peça-máquina, pode-se obter um resultado bastante coerente, enquanto que para outra, não resulte um agrupamento muito racional. Daí a importância dos parâmetros de modelamento, a serem considerados em paralelo ao processamento algorítmico.

A qualidade do agrupamento obtido, por outro lado, depende diretamente da qualidade das informações a respeito da definição das rotas. Impõe-se portanto, uma criteriosa e correta definição das rotas das peças pelas máquinas. Uma rota deve ser o mais coerente possível com o binômio característica de processo e capacidade das máquinas.

5.6 - SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

O trabalho pode ter seguimento sob dois aspectos de desenvolvimento e aperfeiçoamento da metodologia implementada, quais sejam, a nível de pesquisa teórica, ou desta associada a uma pesquisa de campo.

Sob o aspecto de pesquisa prática, pode-se buscar junto com uma indústria de manufaturados, a colaboração para execução de uma proposta de reorganização das atividades produtivas, dentro dos princípios da filosofia de Tecnologia de Grupo. Com base nas características operacionais, da referida indústria, propor-se um plano estratégico de automatização para o sistema produtivo.

Do ponto de vista de pesquisa teórica, o "software" desenvolvido pode ser aprimorado, para novas opções de tratamento sobre os dados, como por exemplo, dispor de arquivos com rotas alternativas, para tratar aquelas peças que forem rejeitadas, numa primeira tentativa de agrupamento. Com planos alternativos, estas peças poderiam ser reprocessadas, para se tentar então, um enquadramento em células já definidas. Serviriam também para se buscar, com seu enquadramento, um melhor índice de aproveitamento de algumas das máquinas.

Ainda dentro da linha de desenvolvimento do "software", uma nova abordagem pode ser definida para tratar o modelamento das células, ou seja, para a metodologia de inferência do processo decisório, implementando-se uma base de regras de produção dentro de um sistema especialista. Isto possibilitaria o tratamento de parâmetros restritivos de modo combinado, com maior espectro de alternativas.

5.7 - CONCLUSÕES

A migração de um sistema tradicional de manufatura para um ambiente de Tecnologia de Grupo, embora possa parecer tarefa complexa, na verdade leva a uma crescente simplificação em todo o ambiente a medida que é organizado, racionalizando recursos e tempo. Sob o aspecto financeiro, embora em uma primeira análise os custos possam parecer consideráveis, a experiência tem indicado um retorno dos investimentos em curto espaço de tempo.

São evidentes os progressos constatados no desempenho operacional, seja na significativa redução dos tempos de processo e de "set-up", ou no número de novos projetos que deixam de ser criados. Outro fator importante é a melhoria do clima de trabalho e moral do operário que, de modo geral, fica mais envolvido no processo como um todo, favorecendo a qualidade.

Há de se ressaltar ainda, que a Tecnologia de Grupo, aplicada a sistemas produtivos, cria todo um ambiente que facilita a automatização, notadamente favorecendo a utilização das modernas tecnologias computacionais de auxílio a manufatura, e que podem ser totalmente integradas como um sistema CIM.

Neste enfoque de organização e integração, um sistema de auxílio computacional como o apresentado neste trabalho, é uma importante ferramenta para projeto e suporte de decisão, na concepção de um ambiente celular de manufatura. Com este objetivo é que se procurou dotar a metodologia de agrupamento do algoritmo com considerações operacionais. Considerações estas, como o tamanho de lotes, os tempos de processos nas respectivas máquinas, além de uma abordagem para tratamento dos gargalos, referentes aos carregamentos das máquinas.

C A P Í T U L O 6

6 - REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] GALLAGHER, C.C. e KNIGHT, W. A. "Group Technology Production Methods in Manufacturing". Ellis Horwood Limited, England, 1986.
- [02] BURBIDGE, JOHN L. "The Introduction of Group Technology". Heinemann, London, 1975.
- [03] GROOVER, MIKELL P. and ZIMMERS, EMORY W. Jr . "Cad/Cam, Computer-Aided Design and Manufacturing". Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
- [04] GALLAGHER, C.C. and KNIGHT, W. A . "Group Technology". Butterworths & Co Ltd, London, 1973.
- [05] GROOVER, MIKELL P. "Automation Production Systems and Computer Integrated Manufacturing". Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- [06] PETERS, J.; DUMONG, W. and VANDICK, F. "Group Technology at Work". American Machinist, num. 16, pp. 40-44, set, 1974.
- [07] FRY, TIMOTHY D.; WILSON, MARTIN, G. and BREEN, MICHAEL "A Successful Implementation of Group Technology and Cell Manufacturing". Production and Inventory Management, third-quarter, 1987.
- [08] ABOUD-ZEID; MOHAMMAD RAAFAT. "Group Technology". Industrial Engineering, pp. 32-39, may, 1975.

- [09] GUERRERO, HECTOR H. "Group Technology: I. The Essential Concepts ". Production and Inventory Management, pp. 62-69 first-quarter, 1987.
- [10] HAM, INYONG, "Group Technology". Handbook of Industrial Engineering, Gavriel Salvendy (editor), John Wiley & Sons Inc., 1982.
- [11] HOUTZEEL, ALEXANDER. "The Many Faces of Group Technology". American Machinist, jan ., 1979.
- [12] SERIO, LUIZ CARLOS. "Tecnologia de Grupo no Planejamento de um Sistema Produtivo ". Icone Editora Ltda, São Paulo 1990.
- [13] CHANG, TIEN-CHIEN and WYSK, RICHARD A. "An Introduction to Automated Process Planning Systems". Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
- [14] HITOMI, K. "Manufacturing Systems Engineering". Taylor & Francis Ltd, London, 1979.
- [15] BLACK, J. T. "Cellular Manufacturing Systems". Industrial Engineering, pp. 36-48, nov., 1983.
- [16] GREENWOOD, NIGEL R. "Implementing Flexible Manufacturing System". John Wiley & Sons Inc., New York, 1988.
- [17] WINTER, PETER J. and GILBERT, J. P. "Flexible Manufacturing Systems: Resistance and Trends". Production and Inventory Management, pp. 10-15, first-quarter 1987.
- [18] O' GRADY, PETER. "Flexible Manufacturing Systems: Present Development and Trends". Computers in Industry, vol. 12, pp. 241-251, 1989.

- [19] CARRIE, ALAN . "Simulation of Manufacturing Systyems". John Wiley & Sons, UK, 1988.
- [20] MUSIL, DAVID C. and AKBAY, KUNTER S. "Improve Efficiency of a Computer Simulation Model". Industrial Engineering, pp. 28-34, nov., 1989.
- [21] WELKE, HELMUT A. and OVERBEEKE, J. "Cellular Manufacturing: A Good Technique for Implementing Just-in-time and Total Quality Control". Industrial Engineering, pp. 36-41, nov., 1988.
- [22] KINNEY, HUGH D. Jr and MCGINNIS, LEON F. "Manufacturing Cells Solve Material Handling Problems". Industrial Engineering, pp. 54-60, ago., 1987.
- [23] DUMOLIEN, WILLIAM J. and SANTEM, WILLIAM P. "Cellular Manufacturing becomes Philosophy of Management at Components Facility". Industrial Engineering, pp. 72-76, nov., 1983.
- [24] SCHONBERGER, RICHARD J. "Plant Layout Becomes Product-oriented whith Cellular, Just-in-time Production concepts". Industrial Engineering, pp. 66-71, nov., 1983.
- [25] ZISK ,BURTON I. "Flexibility is Key to Automated Material Transport System for Manufacturing Cells". Industrial Engineering, pp. 58-64, nov. 1983.
- [26] DUNLAP, GLENN C. and HIRLINGER , CRAIG R. "Well Planned Coding, Classification System Offers Company-wide Sinergistic Benefits". Industrial Engineering, pp. 78-83, nov. 1983.

- [27] DESAI, DILIP T. "How One Firm Put Group Technology Parts Classification System Into Operation. Industrial Engineering", pp. 78-86, nov. 1981.
- [28] SEIFODDINI, HAMID . "Duplication Process in Machine Cells Formation in Group Technology". IIE Transactions, vol. 21, num. 4, pp. 382-388, dec. 1989.
- [29] GUNASING, RAJA K. and LASHKARI, R. S. "The Cell Formation Problem in Cellular Manufacturing Systems - A Sequential Modelling Approach". Computers Industrial Engineering, vol.16, num. 4, pp. 469-476, 1989.
- [30] DAO, THIEN-MY and BOISCLAIR, JACQUES. "Microcomputer Interactive Software for Optimization of (GT) Machine Component Group Formation". Computers Industrial Engineering, vol. 17, num. 1-4, pp. 624-629, 1989.
- [31] KING , J. R. "Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm". International Journal Production Research, vol. 18, num. 2, pp. 213-232, 1980.
- [32] KING, J. R. and NAKORNCHAI, V. "Machine Component Group Formation in Group Technology: Rewiew and Extension". International Journal Production Research, vol. 20, num. 2, pp. 117-133, 1982.
- [33] NAWAZ, MUHAMMAD; ENSCORE, E. EMORY Jr and HAM, INYONG. "A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-Shop Sequencing Problem". Omega - The International Journal of Management Science, vol. 11, num. 1, pp. 91-95, 1983.

- [34] CHU, C-H. "Cluster Analysis in Manufacturing Cellular Formation". Omega - International Journal of Management Science, vol. 17, num. 3, pp. 289-295, 1989.
- [35] KHATOR, S. K. and IRANI, S. A. "Cell Formation in Group Technology: A New Approach". Computer Industrial Engineering, vol. 12, num. 2, pp. 131-142, 1987.
- [36] SEIFODDINI, HAMID K. "Single Linkage Versus Average Linkage Clustering in Machine Cells Formation Applications". Computers Industrial Engineering, vol. 16, num. 3, pp. 419-426, 1989.
- [37] MISHRA, P. K. and PANDEY, P. C. "Simulation Studies of Flexible Manufacturing Systems using Statistical Design of Experiments". Computers Industrial Engineering, vol. 16, num. 1, pp. 65-74, 1989.
- [38] BROWN, MATHILDE C. "The Cell Aid: An Automated Tool for Design Group Technology Cells". Capabilities of Group Technology, SME Publication, pp. 203-213, 1987.
- [39] TABOUN, S.M.; DUTTA, S.P. and RICHARDSON, K. "Comparison and Evaluation of Cellular Manufacturing Design Techniques". Computers Industrial Engineering, vol. 17, num. 1-4, pp. 603-608, 1989.
- [40] VAKHARIA, ASOO J. and WEMMERLOV, URBAN. "Designing a Cellular Manufacturing System : A Materials Flow Approach Based on Operation Sequences". IIE Transactions, vol. 22, num. 1, pp. 84-97, 1990.

- [41] RATTNER, HENRIQUE. "A Escalada dos Sistemas de Fabricação Flexíveis". Revista Brasileira de Tecnologia, vol. 14, num. 2, pp. 33-40, 1983.
- [42] GONÇALVES, EDUARDO VILA FILHO; TSUJI, MARCOS; LIRANI, João. "Fabricação em Famílias de Peças : Um Novo Conceito em Sistemas de Produção". Máquinas e Metais, pp. 36-40, ago. 1982.
- [43] CAULLIRAUX, H. M. e NAVEIRO, R. M. . "Projeto e Simulação de Células de Produção". Máquinas e Metais, pp. 56-66, set. 1989.
- [44] MOSIER, CHARLES T. "An Experient Investigating the Application of Clustering Procedure and Similar Coeficients to the GT Machine Formation Problem". International Journal Production Research, vol. 27, num. 10, pp. 1811-1835, 1989.
- [45] GRUPTA, M. C.; JUDT, C.; GRUPTA, Y. P.; BALAKRISHNAN, S. "Expert Scheduling System for a Prototype Flexible Manufacturing Cell: A Framework". Computer Operation Research, vol. 16, num. 4, pp. 363-378, 1989.
- [46] WANG, HSU-PIN and WYSK, RICHARD A. "A Knowledge-based Approach for Automated Process Planning". International Journal Production Research, vol. 26, num. 6, pp. 999-1014, 1988.
- [47] KUSIAK, ANDREW. "EXGT-S: A knowledge Based System for Group Technology". International Journal Production Research, vol. 26, num. 5, pp. 887-904, 1988.

- [48] HAM, I.; GONÇALVES, EDUARDO VILA; HAN, C.P. "An Integrated Approach to Group Technology Part Family Data Base Design Based on Artificial Intelligence Techniques". Annals of the CIRP, vol. 37, num. 1, pp. 433-437, 1988.
- [49] HERAGU, SUNDERESH S. and KUSIAK, ANDREW. "Analysis of Expert Systems in Manufacturing Design". IEEE - Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; vol. 17, num. 11, pp. 898-912, 1987.
- [50] SHAW, MICHAEL J. and WHINSTON, ANDREW B. "An Artificial Intelligence Approach to the Sheduling of Flexible Manufacturing Systems". IIE Transactions, vol. 21, num. 2, pp. 171-183, 1989.
- [51] HOUTZEEL, ALEX. "Process Planning and Group Technology". CAD/CAM Handbook, cap. 17, Eric Teicholz (editor), MC.Graw-Hill Book Company, 1985.
- [52] BROWN, MATILDE C. "The Cell Design Aid: An Automated Tool for Designing Group Technology Cells". Capabilities of Group Technology, SME, pp. 203-213, 1987.
- [53] KLASTORIN, T.D. and MOINZADEH, KAMRAN. "Production Lot-Sizing under Learning Effects: An Efficient Solution Technique". IIE Transaction, vol. 21, num. 1, pp. 2-20, 1989.
- [54] BOUCHER, T. O. "Lot Sizing in Group technology Production Systems". International Journal Production Research, vol. 22, num. 1, pp. 85-93, 1984.

- [55] GRILLO, RICARDO C. de MEIROZ. "Introdução ao Software OIR - Tecnologia de Grupo Multiclass/CAPP no Sistema CAD/CAM e Implementação na Engenharia do Produto e Manufatura". Anais Simpósio CAD/CAM Sobracon, jun. 1988.
- [56] GRUPTA, TARUN and SEIFODDINI, HAMID. "Production Data Based Similarity Coefficient for Machine Component Grouping Decisions in the Design of Cellular Manufacturing System". International Journal Production Research, vol.28, num. 7, pp. 1247-1269, 1990.
- [57] EDWARDS, G. A. B. "The Family Grouping Philosophy". International Journal Production Research, vol. 9, num. 3, pp. 337-352, 1971.
- [58] LIN, LI and BEDWORTH, D. "A Semi-Generative Approach to Computer-aided Process Planning using Group Technology". Computers & Industrial Engineering, vol. 14, num. 2, pp. 127-137, 1988.
- [59] MITAL, ANIL; KROMODIHARDJO, SUDIYONO; CHANNAVEERAIHAH, CHETAN. "Quantification of Subjective Descriptors of Part Geometry with an aim to increase the Sensivity of Group Technology". Computers & Industrial Engineering, vol. 14, num. 2, pp. 211-218, 1988.
- [60] KING, JOHN RUSSEL. "Production Planning and Control: An Introduction to Quantitative Methods". Pergamon International Library, London, 1975.
- [61] BALTERSBY, ALBERT. "A Guide to Stock Control". Pitman Publishing Limited, London, 1970.

- [62] RIGGS, JAMES L. "Production Systems: Planning Analysis and Control". John Wiley & Sons Inc., 1981.
- [63] DUTTA, S. P.; LASHKARI, R. S.; PADHYE, A.; NADOLI, G. and RAVI, T. "The Cell Formation Problem in Flexible Manufacturing Systems". WARNECKE, H.J., FMS-"Research Viewpoint", Annals of CIRP, 1986.
- [64] KUSIAK, ANDREW. "An Expert System for Group Technology". Industrial Engineering, num. 10, pp. 56-61, oct. 1987.
- [65] CHEN, YU-TONG and YOUNG, ROBERT E. "PACIES, A Part Code Identification Expert System". IIE Transactions , vol. 20, num. 2, pp. 132-136, jun. 1988.
- [66] HYER, LEA NANCY. "Group Technology Oriented Coding Systems: Structures, Applications, and Implementacion". Capabilities of Group Technology, SME Edition, 1987.
- [67] HARVEY, ROBERT E. "How the Machining Cell Makes Flexibility Go". Capabilities of Group Technology, SME Edition, 1987.
- [68] OPITZ, H. and WIENDAHL, H. P. "Group Technology System of Small and Medium Quantity Production". Capabilities of Group Technology, SME Edition, Michigan, 1987.
- [69] SAURA, CARLOS EDUARDO. "A Tecnologia de Grupo Orientada para seu Usuário". Automação & Indústria, num. 26, pp. 14-17, jan. 1990.
- [70] MUTEL, B. "Computer-Aided Group technology Integrated System". Annals of the CIRP, vol. 37, num. 1, pp. 425-428, 1988.

- [71] PERKLENIK, HABIL J. and GRUM, J. "Investigation of the Computer Aided Classification of Parts". Annals of the CIRP vol. 29, num. 1, pp. 329-323, 1980.
- [72] GRUM, J.; LOGAR, B.; HLEBANJA, G. and PEKLENIK, J. "Design of Database for Cad based on Group Technology". Robotics & Computer Integrated Manufacturing, vol. 4, num. 1/2, pp. 49-62, 1988.
- [73] TIPNIS, V.A.; VOGEL, S.A. and LAMB, C. E. "Computer-Aided Process Planning System for Aircraft Engine Rotating Parts". Capabilities of Group Technology, SME, pp. 152-156, 1987.
- [74] TULKOFF, JOSEPH. "Implementing a Computer Process Planning System Based on Group Technology Classification and Coding Scheme". Capabilities of Group Technology, SME, pp. 149-151, 1987.
- [75] WEI, JERRY C. and KERN, GARY M. "A Linear Cell Clustering Algorithm for Group Technology". International Journal of Production Research, vol. 27, num. 12, pp. 2053-2062, 1989.
- [76] HALEVI, GIDEON. "GT, not Coding and Classification". American Machinist, pp. 158-162, ago. 1988.
- [77] ALLISON, JASPER W. and VAPOR, CURT J. "GT Approach proves out". American Machinist, pp. 86-89, fev. 1989.
- [78] WARNECKE, H. J. and STEINHILPER, R. "Flexible Manufacturing System and Cells". Flexible Manufacturing Systems, IFS(Publication) Ltd, UK, 1985.

- [79] WIENDHAL, HANS-PETER. "Throughput Oriented Lot Sizing", Annals of the CIRP, vol. 39, pp. 509-512, 1990.
- [80] MARTIN, T. "Work Design / Organisation in Automated Manufacturing System". Flexible Manufacturing Systems, IFS (Publication) Ltd, pp. 77-85, UK, 1985.
- [81] McAULEY, JOHN . "Machine Grouping for Efficient Production". Production Engineer, pp. 53-57, fev. 1972.
- [82] TEPSIC, R. "The Parts-orientated Approach to Planning FMS". Flexible Manufacturing Systems, IFS (Publication), pp. 99-104, UK, 1985.
- [83] KNIGHT, J .A .G. "Control Requeriments for Flexible Manufacturing". Flexible Manufacturing Systems, IFS (Publication), UK, 1985.
- [84] MCCORMICK, WILIAM T.; SCHWEITZER, PAUL J.; WHITE, THOMAS W. "Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique". Operation Research, num. 5, vol. 20, pp. 993-1009, 1972.
- [85] BILLO, RICHARD E.; RUCKER, ROB; SHUNK, DAN L. "Integration of a Technology Classsication and Coding System with an Engineering Database". Journal of Manufacturing Systems, vol. 6, num. 1, pp. 37-45.
- [86] COSTA, CARLOS A. e RABELO RICARDO J. "Desenvolvimento de um Sistema de Codificação e Classificação Baseado em Tecnologia de Grupo". Anais do 10º Seminário de Comando Numérico no Brasil, SOBRACON, set. 1990.

- [87] OPITZ, H. "Werkstückbeschreibendes Klassifizierungssystem" Verlag W. Girardet, Essen, 1966.
- [88] MONTEVECHI, JOSÉ ARNALDO . "Tecnologia de Grupo Aplicada ao Projeto de Células de Fabricação". Dissertação de Mestrado Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1989.
- [89] PONTES, MARCELO. "Nossas indústrias podem alcançar vantagens competitivas imensas". Máquinas e Metais, pp.49, dez 1990.
- [90] JAPAN SOCIETY FOR THE PROMOTION OF MACHINE INDUSTRY, "Group Technology", 1980.
- [91] KUSIAK, ANDREW . "Optimal selection of Machinable Volumes". IIE Transaction, vol. 22, num. 2, pp. 151-160, 1990.
- [92] BURBRIDGE, J. L. "Production Flow Analysis". The Production Engineer, vol. 50, num. 4/5, pp. 139-152, 1971.
- [93] KUNZLE, LUIZ ALLAN; SOUZA ARISON; STADZISZ, PAULO. "Uma Proposta de Ciclo de Vida para Sistemas Flexíveis de Manufatura". Anais XXII Congresso Nacional de Informática, Sucusu, São Paulo, 1988.
- [94] KUSIAK, ANDREW. "Flexible Manufacturing System: A Strutural Approach". International Journal Production Research , vol. 23, num. 6, pp. 1057-1073, 1985.
- [95] NAGI, RAKESH; HARHALAKIS, GEORGE; PROTH, JEAN MARIE. "Multiple Routeing and Capacity Consideration in Group Technology Applications". International Journal Production Research, vol. 28, num. 12, pp. 2243-2257, 1990.

- [96] HYER, NANCY L.; WEMMERLOV, URBAN. "Group Technology and Productivity". Capabilities of Group Technology, SME Publication, pp. 3-12, 1987.
- [97] CHEVALIER, PETER W. "Group Tecnology: The Conecting Link to Integration of CAD and CAM". Capabilities of Group Technology, SME Publication, pp. 51-64, 1987.
- [98] SCHONBERGER, RICHARD J. (CHIQUETO, OSVALD - tradução). "Técnicas Industriais Japonesas", Livraria Pioneira Editora 309 pp., São Paulo, 1987.
- [99] SCAFER, HEIKO and BRANDON JOHN A. "The New Face of Group Technology in the Light of Recent Developements in Information Technology". Factory Automation and Information Management, CRC Press Inc., pp. 292-301 , 1991.
- [100] GONÇALVES, EDUARDO VILA FILHO, "Computer Aided Group Technology Part Family Formation Based on Pattern Recognition Techiniques". PhD. Thesis in Industrial Engeneering, Pensylvania State University, 1987.
- [101] BEDWORTH, DAVID D.; HENDERSON, MARK R.; WOLFE, PHILIP M. "Computer Integrated Design and Manufacturing", McGraw-Hill Inc, 653p, 1991.
- [102] EYADA, OSAMA K. "Are Flexible Manufacturing Systems the Solution?". Apostila de curso ministrado na Fundação CERTI, Florianópolis, SC, jun. 1991.
- [103] KUSIAK, ANDREW; HERAGU, S. "Group Technology", Computer in Industry, num 9, pp 83-91, 1987.